

**Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes**

**Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin**

**FESTSTOFFBEOBACHTUNG IM RHEIN**

**Beschreibung der Messgeräte und Messmethoden**

**M. Spreafico  
C. Lehmann  
H. Schemmer  
M. Burgdorffer  
T.L. Kos  
Mit Beiträgen von  
D. Rickenmann  
M. Sturm  
E. van Velzen**



**Bericht Nr. II-11 der KHR  
Rapport no. II-11 de la CHR**

# Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

---

## Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

### FESTSTOFFBEOBACHTUNG IM RHEIN

#### Beschreibung der Messgeräte und Messmethoden

M. Spreafico, Landeshydrologie und -geologie, Bern  
C. Lehmann, Landeshydrologie und -geologie, Bern  
H. Schemmer, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz  
M. Burgdorffer, RIZA, Arnheim  
T.L. Kos, RIZA, Arnheim

Mit Beiträgen von  
D. Rickenmann, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald,  
Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf  
M. Sturm, Eidgenössische Anstalt für Abwasserreinigung,  
Wasserversorgung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf  
E. van Velzen, RIZA, Arnheim



CHR/KHR  
Sekretariat  
Postbus 17  
NL-8200 AA Lelystad  
Niederlande/Pays-Bas



Landeshydrologie und  
-geologie  
CH-3003 Bern  
Schweiz



Bundesanstalt für  
Gewässerkunde  
Postfach 309  
D-56003 Koblenz  
Deutschland



Rijkswaterstaat  
RIZA  
Postbus 9072  
NL-6800 ED Arnhem  
Nederland

Bericht Nr. II-11 der KHR  
Rapport no. II-11 de la CHR

© 1996, CHR/KHR  
ISBN 90-70980-22-3

**Observation du matériel solide transporté dans le Rhin**  
**Description des instruments de mesure et des méthodes opérationnelles**

Textes français:

Préface: p. 3

Informations sur la CHR: p. 102

**Sediment observation in the Rhine**  
**Description of operational measuring instruments and methods**

English texts:

Preface: p. 4

Information on the CHR: p. 104

**Sedimentwaarneming in de Rijn**  
**Beschrijving van meetinstrumenten en meetmethoden**

Nederlandstalig gedeelte:

Voorwoord: blz. 4

Informatie over de CHR: blz. 104

## Vorwort

Die Sicherstellung der Vergleichbarkeit hydrologischer Beobachtungen im Einzugsgebiet des Rheins ist ein wichtiges Aufgabengebiet der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR). Während in früheren Jahren hauptsächlich der Homogenität der Abflussmessungen Beachtung geschenkt worden ist, startete die KHR 1989 ein Projekt "Feststoffbeobachtung und -transport im Rheingebiet". Die Hauptziele dieses Projektes liegen in der Erfassung und Beurteilung der in den Anliegerstaaten verwendeten operationellen Methoden für die Feststoffbeobachtung und in dem Vergleich der Modelle für die Feststofftransportberechnung. Darauf basierend soll die Vergleichbarkeit der Resultate von Erhebungen und Studien der Anliegerstaaten untersucht und falls notwendig die Methoden homogenisiert werden. Zur Zielerreichung wurden die 3 Arbeitsgruppen "Feststoffbeobachtung", "Feststofftransportmodelle" und "Geomorphologische Grössen" gebildet.

Der vorliegende Bericht ist ein Gemeinschaftswerk der Arbeitsgruppe Feststoffbeobachtung. Er beschreibt die operationellen Messgeräte und -methoden für die Feststoffbeobachtung, welche in den Ländern Schweiz, Deutschland und den Niederlanden eingesetzt werden. Die Messgeräte und methoden werden kurz dargestellt und beurteilt sowie Besonderheiten und Erfahrungen beschrieben. Er stellt zudem ein Hilfsmittel für die Planung von vorgesehenen Vergleichsmessungen im Rhein dar.

Die KHR dankt allen Beteiligten, welche Beiträge zu diesem Bericht geliefert haben.

Dr. M. Spreafico  
Präsident der KHR

## Préface

Une part importante des activités de la Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR) consiste à s'assurer que les observations hydrologiques effectuées dans le bassin du Rhin soient comparables entre elles. Alors qu'au début l'attention s'est portée essentiellement sur l'homogénéité des mesures de débit, la CHR a fait démarrer en 1989 un projet "Observation du matériel solide transporté dans les cours d'eaux du bassin du Rhin et étude des conditions de leur transport". Le but principal de ce projet consiste à inventorier et évaluer les méthodes opérationnelles utilisées pour l'étude des matériaux solides transportés ainsi qu'à comparer les modèles permettant de calculer la masse ainsi transportée. A partir de ces données, il sera alors possible d'étudier la comparabilité des résultats de relevés ou d'études effectués par les Etats riverains et, le cas échéant, il faudra homogénéiser les méthodes. Pour atteindre ce but, 3 groupes de travail ont été constitués: "Observation du matériel solide transporté", "Modèles pour le calcul du transport de matériel solide" et "Variables géomorphologiques".

Le présent rapport est l'oeuvre commune du groupe "Observation du matériel solide transporté". Il décrit les instruments de mesure et les méthodes opérationnelles utilisés pour ce genre d'observations, en Suisse, en Allemagne et aux Pays-Bas. Instruments de mesure et méthodes sont brièvement décrits et évalués; leurs particularités et les expériences faites sont exposées. Ce rapport constitue en outre une aide à la planification des mesures comparatives prévues dans le Rhin.

La CHR remercie chaleureusement tous les participants ayant livré des contributions à ce rapport.

Dr. M. Spreafico  
Président de la CHR

## Preface

An important task of the International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR) is to ensure that hydrological observations made in the Rhine catchment area are comparable. The CHR started the project "sediment observation and transport in the river Rhine" in 1989. Up to that year, the Commission had focused its attention on the homogeneity of discharge measurements. The main objectives of the project are collecting and judging all operational methods of sediment observation used in the riparian countries and comparing models for sediment transport calculations. Based on these informations, observations and results of studies carried out in the riparian countries will be compared and, if necessary, methods will be made homogeneous. Three study groups have been appointed to achieve these goals: the first deals with "sediment observations", the second with "modelling sediment transport" and the third studies "geomorphological parameters".

This report is the joint result of the study group "sediment observations". It describes all operational measuring instruments and methods for sediment observations which are used in Switzerland, Germany and the Netherlands. Instruments and methods are briefly presented and judged, and special features including experiences gained by using these instruments and methods are described. In addition, the report will also function as an aid for planning future comparative sediment measurements in the river Rhine.

The CHR would like to thank all contributors who helped to complete this report.

Dr. M. Spreafico  
President of the CHR

## Voorwoord

Een belangrijke taak van de Commissie voor de Hydrologie van het Rijngebied (CHR) is ervoor te zorgen dat de hydrologische metingen die in het Rijngebied worden uitgevoerd vergelijkbaar zijn. Nadat in de beginjaren vooral aandacht was geschonken aan de homogeniteit van afvoermetingen, begon de CHR in 1989 met het project "sedimentmetingen en -transport in het Rijngebied". Het hoofddoel van dit project is het inventariseren en beoordelen van de in de Rijnsoeversteden gebruikte operationele methoden voor sedimentmeting. Een ander belangrijk doel is het vergelijken van de modellen die gebruikt worden voor het berekenen van sedimenttransport. Op basis hiervan wil men de vergelijkbaarheid van de in de lidstaten uitgevoerde onderzoeken en studies beoordelen en zonedig de methoden meer homogeen maken. Hiertoe werden de 3 werkgroepen "Meetinstrumenten", "Morfologische modellen" en "Sedimenthuishouding" gevormd.

Dit rapport is een gezamenlijk produkt van de werkgroep Meetinstrumenten. Het bevat een beschrijving van de apparaten en methoden die in Zwitserland, Duitsland en Nederland operationeel gebruikt worden voor sedimentmetingen. De meetinstrumenten en -methoden worden in het kort gepresenteerd en beoordeeld, en bijzonderheden en ervaringen die ermee zijn opgedaan worden beschreven. Bovendien kan dit rapport bruikbaar zijn bij de planning van vergelijkende metingen in het Rijngebied.

De CHR bedankt allen, die een bijdrage aan dit rapport geleverd hebben.

Dr. M. Spreafico  
Voorzitter van de CHR



## INHALTSVERZEICHNIS

<i>Vorwort</i> .....	3
<i>Préface</i> .....	3
<i>Preface</i> .....	4
<i>Voorwoord</i> .....	4
<b>1. Einleitung</b> .....	9
1.1 Definition .....	9
1.2 Notwendigkeit von langfristigen Feststoffbeobachtungen .....	9
1.3 Wichtige Feststoffbeobachtungen .....	11
<b>2. Erfassung von Feststofffrachten in Wildbächen im Einzugsgebiet des Alpenrheins</b> ..	16
2.1 Messung der Feststoffführung .....	16
2.1.1 Messung mittels Unterwassermikrofonen (Hydrophonen) .....	16
2.1.2 Gemischstandmessung (Wasser + Feststoff) zur Bestimmung der Feststoffführung	17
2.1.3 Messung mittels Geschiebesammler .....	17
2.2 Messung der Feststofffracht .....	18
2.2.1 Methoden zur Erfassung der Feststofffracht in Geschiebesammlern .....	18
2.2.2 Erfassen von Übermurungen sowie der Erosionsgebiete .....	20
<b>3. Erfassung von Feststoffen im Alpen-, Ober- und Niederrhein sowie seiner Nebenflüsse</b> .....	22
3.1 Erfassung von Feststoffen in Flüssen der Schweiz .....	22
3.1.1 Messung der Geschiebeführung mittels Fangkorb .....	22
3.1.2 Messung der Geschiebefracht .....	22
3.1.3 Messung der Schwebstoffführung .....	24
3.2 Erfassung von Feststoffen in Deutschland .....	31
3.2.1 Entnahme von Bodenproben .....	31
3.2.2 Geschiebemessungen .....	41
3.2.3 Schwebstoffmessungen .....	47
3.3 Erfassung von Feststoffen in den Niederlanden .....	57
3.3.1 Messgeräte für den Feststofftransport .....	57
<b>4. Erfassung von Feststoffen in Seen und Stauräumen</b> .....	68
4.1 In der Schweiz angewendete Messmethoden .....	68
4.1.1 Feststoffeintrag .....	68
4.1.2 Schwebstoffkonzentration .....	68
4.1.3 Sedimentationsraten .....	71
4.2. In Deutschland angewendete Messmethoden für die Erfassung von Feststoffen in Seen und Stauräumen .....	77
4.3 In den Niederlanden angewendete Messmethoden für die Erfassung von Feststoffen in Seen und Stauräumen .....	77
4.3.1 Bodenprobenentnahmeggeräte .....	77
4.3.2 Schwebstofffassung .....	86
<b>5. Peilungen</b> .....	87
5.1 In der Schweiz angewendete Methoden .....	87
5.2 In Deutschland angewendete Methoden .....	88
5.3 In den Niederlanden angewendete Methoden .....	89

<b>6.</b>	<b>Erfassung der physikalischen Eigenschaften der Feststoffe</b>	91
6.1	In der Schweiz angewendete Methoden	91
6.1.1	Korngrössenverteilung	91
6.1.2	Kornform	93
6.1.3	Petrographie: Mineralogische Zusammensetzung der Schwebstoffe	93
6.1.4	Dichte/Raumgewicht	94
6.2	In Deutschland angewendete Methoden	94
6.2.1	Korngrössenverteilung	94
6.2.2	Kornform	95
6.2.3	Petrographie – Abrieb / Härte	96
6.2.4	Dichte/Raumgewicht	96
6.2.5	Sedimentationsverhalten	96
6.3	In den Niederlanden angewendete Methoden	96
6.3.1	Korngrössenverteilung	96
6.3.2	Bestimmung des spezifischen Trockensedimentgewichtes	97
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	98
	<b>KHR-Veröffentlichungen</b>	100
	<b>Publications de la CHR</b>	100
	<b>Publications of the CHR</b>	100
	<b>CHR-publicaties</b>	100
	<b>Einige Informationen über die KHR</b>	102
	<b>Quelques informations sur la CHR</b>	102
	<b>Some information on the CHR</b>	104
	<b>Informatie over de CHR</b>	104



## **1. EINLEITUNG**

### **1.1 DEFINITION**

Durch Verwitterungsvorgänge werden Festgesteine aufgelockert und zersetzt. Das derart entstandene Lockermaterial wird durch Oberflächenabfluss und Massenverlagerungen (z.B. Felsstürze und Rutschungen) den Wasserläufen zugeführt. Wildbäche und Flüsse verfrachten diese Feststoffe weiter talabwärts, wobei Material zeitweise in den Gerinnen abgelagert und wieder erodiert wird. In Seen und Stauräumen wird ein grosser Teil der Feststofffracht abgelagert. Kenntnisse über Erosion, Transport und Ablagerung von Feststoffen in Bächen, Flüssen und Seen sind eine wesentliche Bedingung zur Lösung der Aufgaben in den Bereichen Wasserbau, Schifffahrt, Wasserversorgung, Wasserkraftnutzung und Umweltschutz. Unter Feststoffen ist im folgenden die Gesamtheit der festen Stoffe zu verstehen, welche im Wasser transportiert oder abgelagert werden, also Geschiebe, Schwebstoffe, Geschwemmsel (v.a. Holz) und Eis. Die gelösten Stoffe werden hier nicht behandelt.

### **1.2 NOTWENDIGKEIT VON LANGFRISTIGEN FESTSTOFFBEOBACHTUNGEN**

Für die Wasserwirtschaft und den Umweltschutz ist die Kenntnis des Feststoffpotentials und der transportierten und abgelagerten Feststoffmenge von vitaler Bedeutung. Generell dienen Feststoffbeobachtungen der Planung und dem Betrieb von Schutzmassnahmen gegen schädigende Auswirkungen (Gefahrenerkennung und ihre Beurteilung, Planung von Hochwasserschutzmassnahmen), zur Lösung von Problemen des qualitativen Gewässerschutzes, für die Planung von Bauten und Verkehrswegen in Gewässernähe und der Forschung. Als Beispiele seien hier einige Nutzungszwecke angegeben:

#### **WASSER- UND FLUSSBAU**

- Planung von Stabilisierungsmassnahmen an Gerinnesohlen und Einhängen
- Bestimmung der Auswirkungen von Wildbächen auf ihre Vorfluter
- Projektierung von wasserwirtschaftlichen Bauwerken

#### **VERKEHRSWEGE**

- Planung von Strassen- und Bahnanlagen (Bachdurchlässe, Flussquerungen, Parallelführungen zu Gewässern)
- Planung, Bau und Betrieb von Schifffahrtsanlagen (Verlandung von Schifffahrtsstrassen und Hafenanlagen)

#### **WASSERVERSORGUNG**

- Projektierung von Wasserfassungen, Querungen, Einleitungen etc.
- Methodenwahl zur Wasseraufbereitung (Sedimentation, Abnutzung von Pumpen)
- Lösung von Problemen der Gewässerinfiltration und -exfiltration

#### **WASSERKRAFTNUTZUNG**

- Planung, Bau und Betrieb von Fassungen (Sedimentation, Holzurückhalt)
- Bau und Betrieb von Wasserkraftanlagen (Standortwahl, Verlandungs-, Spülungs- und Erosionsprobleme, Uferschutzmassnahmen)

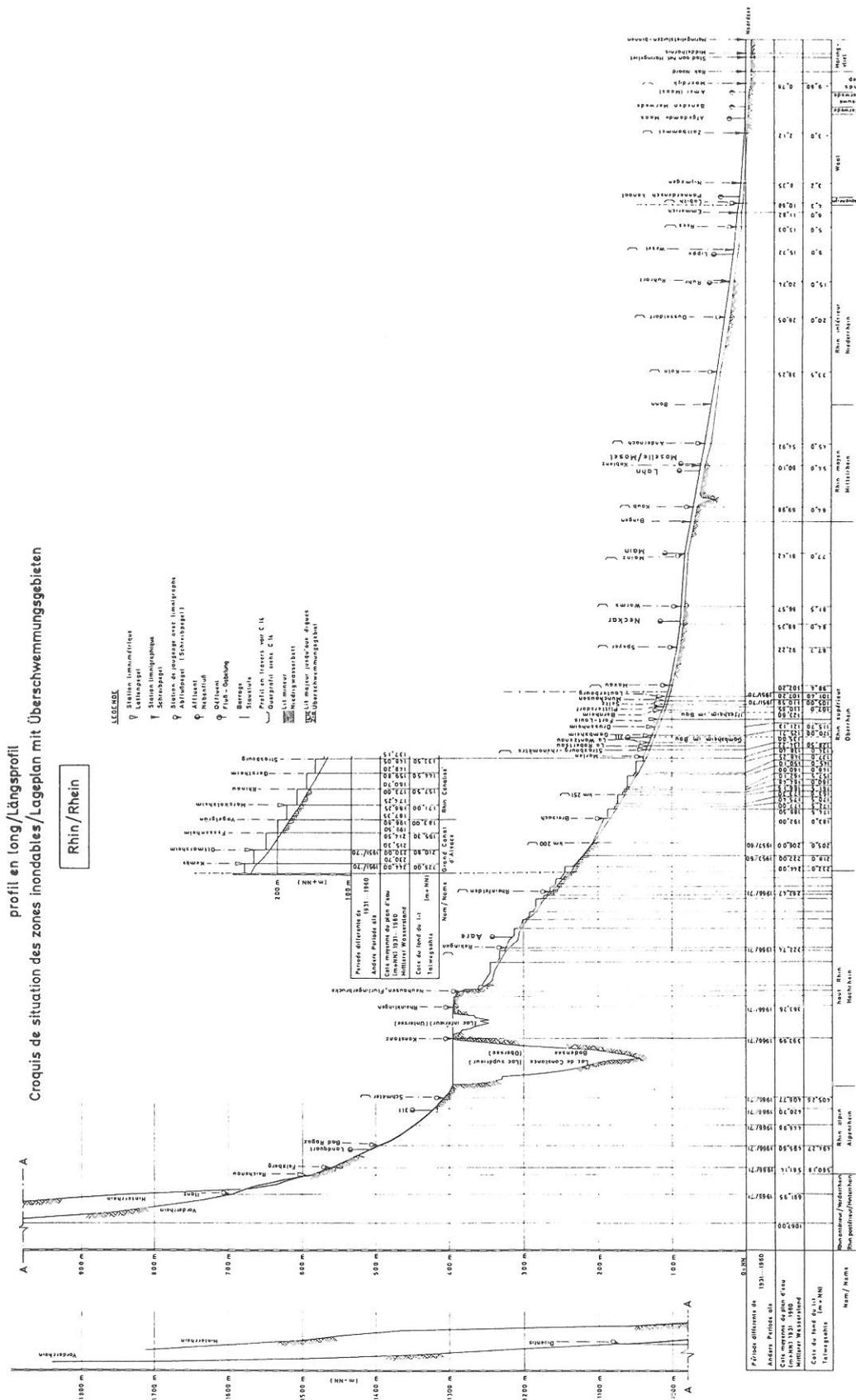


Fig. 1 Schematisches Längprofil des Rheins

## UMWELTSCHUTZ/RAUMPLANUNG

- Natur- und Landschaftsschutz im Wirkungsbereich der Gewässer
- Massnahmenplanung beim passiven Hochwasserschutz (Gefahrenerkennung, Hochwasserwarnung, Ausscheidung von Gefahrengebieten, Bewirtschaftung von Vorländern, Auenwälder)
- Behandlung des Verlandungsproblems an seichten Stellen (Fischerei)
- Planung von Einzugsgebietssanierungen (Erhaltung und Verbesserung der Nutzungsfähigkeit des Einzugsgebietes, Aufforstung).

Obwohl Untersuchungen über den Feststofftransport bis ins letzte Jahrhundert zurückreichen, ist der komplizierte Mechanismus des Transportes von festen Stoffen – namentlich bei Hochwasser – weitgehend ungeklärt. Erkenntnisse über Vorgänge, welche die Fluss- und Bettform bestimmen, sind ungenügend. Die Stabilität und Hochwassersicherheit der Gerinne wird aber durch die Feststoffführung entscheidend beeinflusst. Dies gilt in besonderem Masse für die Wildbäche, die extrem grosse Feststoffmengen transportieren und entsprechende Verheerungen verursachen können. Durch neue Bedürfnisse, hauptsächlich aus Richtung Gewässerschutz und Naturschutz (Selbstreinigung, Kolmatierung, Grundwasseranreicherung, Adsorption von Schadstoffen), wird der Zwang nach besseren Beobachtungen und Kenntnissen des Feststofftransportes noch verstärkt.

Wegen der Komplexität der Feststofftransportprozesse werden es – neben theoretischen Untersuchungen und Laborarbeiten – nur zuverlässige Messungen an natürlichen Gewässern erlauben, in Zukunft die Gefährlichkeit von Wildbächen, die Gerinneveränderungen, die Abflusskapazität von Fliessgewässern, die Wechselwirkungen zur Umwelt sowie Verlandungsvorgänge in Seen und Stauhaltungen besser zu beurteilen. Feststoffbeobachtungen sollten dabei nicht isoliert, sondern immer in Verbindung mit weiteren, v.a. hydrologischen, meteorologischen, und geologischen Untersuchungen durchgeführt werden.

### 1.3 WICHTIGE FESTSTOFFBEOBACHTUNGEN

Die Feststoffbeobachtungen werden getrennt nach den wichtigen Gewässertypen Wildbäche, Flüsse und Seen/Stauräume aufgeführt (vgl. Fig. 2).

#### A) WILDBÄCHE

Das Abfluss- und Feststoffregime von Wildbächen ist starken Schwankungen unterworfen. Intensive Gewitter sind häufig die Ursache für Extremabflüsse, bei welchen der Feststoffanteil sehr hoch sein kann und zur Entstehung von Murgängen führen kann. Da Art und Grösse extremer Ereignisse nicht ausschliesslich von Vorgängen im Bachgerinne selbst abhängen, sondern das Einzugsgebiet des Baches unmittelbar am Abflussgeschehen beteiligt ist, sind die sich stellenden Probleme oft äusserst komplex.

Wo die Erhaltung und Förderung der Nutzungsfähigkeit der Berggebiete es erfordern, ist der Gefährdung durch Wildbäche besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Dies erfolgt beispielsweise im Interesse der Sicherheit der Anwohner, der Land- und Forstwirtschaft, der Gefahrenzonenplanung, des Tourismus und des Natur- und Landschaftsschutzes. Bautechnische Massnahmen in Wildbächen müssen jedoch ganzheitlich geplant und ihre Wirkung auf die Vorfluter, d.h. die Flüsse, in welche die Wildbäche einmünden, berücksichtigt werden. Die Wildbachverbauung ist aus dieser Sicht integrierender Bestandteil der Flusskorrekturen und damit ein wesentliches Element für die Sicherheit der Talbewohner. Eines der wesentlichen Ziele ist es demzufolge, die Vorgänge, Geschiebeentstehung, -transport und -ablagerung, in Wildbächen zu erkennen und je nach Schutzbedürfnis zu regulieren.

Für den Verbau der Wildbäche, d.h. für eine gezielte Reduktion des Gefahrenrisikos und für die Schadenminderung bei Extremereignissen, sollte somit der Bachcharakter bekannt sein. Die Wir-

kung der Schutzmassnahmen muss richtig abgeschätzt werden können. Dieser ganze Bereich ist fachlich wenig erschlossen. Solche Kenntnisse, einschliesslich über das Fliessverhalten in Natur- und Verbaustrecken, sind aber eine wichtige Voraussetzung für die Planung geeigneter Massnahmen im betreffenden Einzugsgebiet.

Die Mechanismen, die für die Schadenereignisse entscheidend sind, sind generell bekannt. Doch ist die quantitative Erfassung von Hochwasserabläufen, der Feststoffführung und der damit verbundenen Veränderungen des Bachbettes und der Bacheinhänge nur begrenzt möglich. Infolge der extrem starken Feststoffführung werden die Abflusstiefe und die Fliessgeschwindigkeit massgeblich von der Grösse der Feststoffkonzentration beeinflusst. Bei extremen Feststoffkonzentrationen verändern sich zusätzlich die viskosen Eigenschaften. Sie kann so gross werden, dass man nicht mehr von einem Geschiebetransport im hydraulischen Sinn sprechen kann, sondern nur noch von einem Geschiebetransport als Massenfliessen (Murgänge) im Sinne der Rheologie. Trotz vieler praktischer Erfahrungen bestehen noch recht breite Kenntnislücken, die unbedingt geschlossen werden sollten.

Daraus ergeben sich die folgenden Notwendigkeiten für Feststoffbeobachtungen in Wildbächen:

- Höchstmögliche Geschiebeführung (Transportkapazität)
- Geschiebeführung entsprechender Jährlichkeit
- Ganglinie der Geschiebeführung
- Korngrösse, zugeordnet zu ausgesuchten Hochwasserereignissen
- Höchstmögliche Geschiebefracht eines Hochwassers
- Geschiebefracht eines Hochwassers bestimmter Grösse
- Geschiebepotential eines Einzugsgebietes

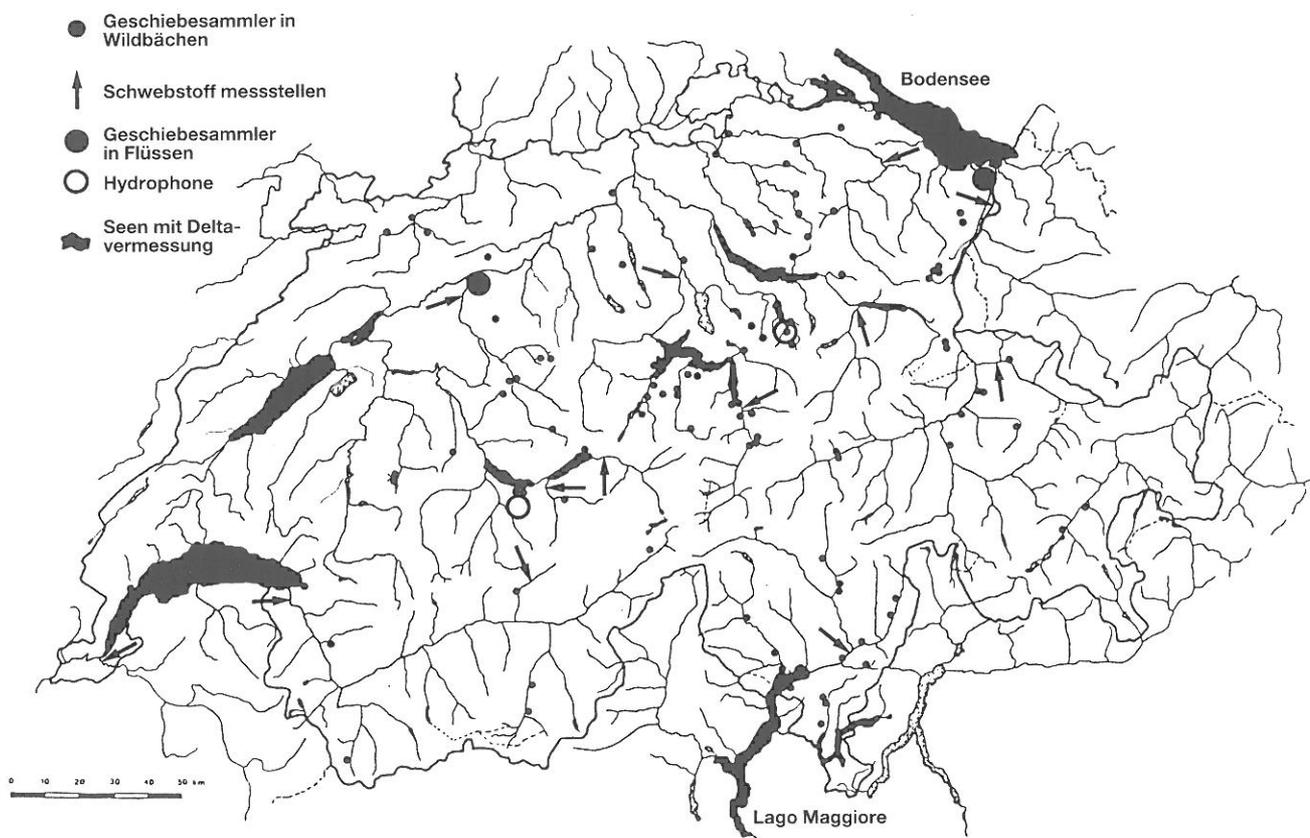


Fig. 2 Übersicht über die Feststoffmessstellen in der Schweiz

- Schwebstoffkonzentration
- Ganglinie der Schwebstoffführung
- Schwebstofffrachten.

Ergänzend sind die folgenden Feststoffcharakteristika von Bedeutung:

- Kornverteilung
- $d_{\text{mittel}}, d_{\text{max}}$
- Kornform und Petrographie
- Spezifisches Gewicht
- Raumgewicht von Ablagerungen und Murgängen
- Transportierte Geschwemmsmenge pro Hochwasserereignis.

Neben diesen Feststoffbeobachtungen braucht es weitere hydrologische Parameter, aber auch Angaben zur Geologie, Geomorphologie, Meteorologie, Oekologie und Bodennutzung.

## b) FLÜSSE

Das im Einzugsgebiet abgetragene Feststoffmaterial wird von den Flüssen als Geschiebe, d.h. auf der Sohle rollend, gleitend oder springend sowie als Schwebstoff verfrachtet. Je nach Strömungsbedingungen und Feststoffzufuhr kann Material im Flussbett abgelagert oder erodiert werden. In schweizerischen Flüssen existiert praktisch nur ein Austausch zwischen Geschiebe und Sohlenmaterial; die Schwebstoffe werden durch die Flüsse fortbewegt, ohne abgelagert oder an der Sohle angereichert zu werden. Eine Ausnahme bilden Stauhaltungen, in denen Feinmaterial abgelagert wird, welches durch stärkere Strömungen wieder aufgewirbelt und in suspensierter Form weiterbefördert werden kann. Die Geometrie und das Längsgefälle des Gerinnes, sowie die Beschaffenheit der Ufer und des Sohlenmaterials, bestimmen für einen gegebenen Abfluss den Wasserspiegelverlauf und damit die Abflusskapazität. Gerinnegeometrie und momentaner Abflusszustand definieren das momentane Feststofftransportvermögen des Flussgerinnes, d.h. ob Ablagerung, Gleichgewicht oder Erosion vorherrscht. Da diese Veränderungen der Flusssohle wiederum die Gerinnegeometrie beeinflussen, besteht eine komplexe Wechselwirkung zwischen Abfluss, Gerinneform und Feststoffführung. Ziel des Flussbaus ist es, einerseits eine gewisse Abflusskapazität eines Gerinnes zu garantieren, andererseits durch Leitdämme, Schwellen etc. eine bestimmte Gerinneform über längere Zeit stabil zu halten. Diese Stabilität des Gerinnes garantiert nicht nur die Abflusskapazität (und damit die Sicherheit umliegender Nutz- und Wohngebiete), sondern beeinflusst auch den Grundwasserstand sowie die Befahrbarkeit von Flüssen mit Schiffen. Starke Veränderungen der Flusssohlen können zudem Bauwerke in und am Fluss (Brücken, Wasserkraftanlagen, Verkehrswege etc.) gefährden.

Eine Kontrolle der Gerinnestabilität, der Abflusskapazität sowie der Auswirkungen baulicher Eingriffe, ist durch Beobachtung der Flussmorphologie, d.h. durch periodische Ausmessung der Flussmorphologie und durch die Erfassung der Gerinnerauhigkeit, möglich. Eine Prognose ist jedoch nur über die Kenntnis der Geschiebeführung, möglich. Grundsätzlich kann mit Hilfe von Formeln, Analysen des Sohlenmaterials, etc. grob abgeschätzt werden, ob das Transportvermögen eines Gerinnes der Feststoffzufuhr entspricht, oder ob es zu Auflandungen oder Erosionen kommen wird.

Je komplexer die Verhältnisse an einem Fluss sind (variable Geometrie, stark unterschiedliche Korngrößen, stark wechselnde Abflüsse), umso schwieriger wird die rechnerische Erfassung. In vielen praktischen Fällen sind Berechnungen sehr aufwendig und werden deshalb oft nicht durchgeführt. Zudem sind gewisse Phänomene, wie die Entmischung des Geschiebematerials, noch weitgehend unerforscht und verunmöglichen eine zuverlässige Rechnung. Abweichungen von starren Gerinneformen, welche den Anliegen des Natur und Landschaftschutzes gerecht zu werden versuchen, bedeuten eine weitere Komplikation der Rechnung.

Mit der allgemeinen Entwicklung der numerischen Simulationstechniken werden heute ver-

mehrt Computermodelle verwendet, um das Verhalten von Flussgerinnen und die Auswirkung von Einbauten vorauszusagen. Solche Modelle sowie die Beurteilung ihrer Qualität bedürfen jedoch des Vergleichs mit Naturdaten, namentlich betreffend die Geschiebeführung. Entsprechende Messwerte sind jedoch äusserst selten. Sie sollten an ausgewählten Flussstrecken über mehrere Jahre hinweg erhoben werden, um zuverlässige Vergleiche zu ermöglichen. Daraus ergeben sich die folgenden Notwendigkeiten für Feststoffbeobachtungen in Flüssen:

- Geschiebeführung (insbesondere bei Hochwasser)
- Geschiebefrachten
- Schwebstoffführung
- Schwebstofffracht.

Wichtige Feststoffcharakteristika sind:

- Kornverteilung in Funktion von Ort und Zeit des ruhenden Geschiebes (Deckschicht, Unterschicht)
- Kornverteilung in Funktion von Ort, Zeit und Wassermenge des laufenden Geschiebes
- Dito für die Schwebstoffe
- Kornform und Petrographie
- Spezifisches Gewicht
- Raumgewicht der Ablagerungen
- Transportierte Holzkubatur pro Hochwasserereignis.

Neben diesen Feststoffbeobachtungen braucht es weitere Angaben über Geologie, Geomorphologie, Hydrologie und Oekologie. Zu nennen sind insbesondere die Gewässermorphologie: Flussform, Quer- und Längsprofile, Sohlenform und deren zeitliche Veränderung und die daraus abzuleitenden Grössen wie Gefälle, Ablagerungs- und Erosionskubaturen, sowie die Rauzigkeit des Flussbettes. Die Messung von Wasserspiegel-Längenprofilen bei verschiedenen Abflüssen und die Abflüsse selber sind weitere wichtige Hilfsmittel.

### C) SEEN UND STAUÄRÄUME

Der weitaus grösste Teil aller Feststoffe wird den Seen durch einmündende Fliessgewässer zugeführt. In sehr untergeordnetem Rahmen können je nach geologischer Situation Feststoffe durch Felsstürze, Gletscherabbrüche, Lawinen, Uferabbrüche, Staubniederschlag oder durch menschlichen Einfluss (Aufschüttungen, Deponien) in Seen eingetragen werden. Die namentlich in Flachlandseen vorherrschenden biogen und/oder chemisch ausgefallten Kalke (Seekreide) entstammen letztlich auch den Zuflüssen, welche die entsprechende Lösungsfracht dem See zuführen.

Geschiebe lagert sich in der Regel unmittelbar nach der Einmündung des Zuflusses ab, was zur Deltabildung führt, bei steilen Seeufern auch zu subaquatischen Bachschuttkegeln. Mit abnehmender Korngrösse nimmt die Sinkgeschwindigkeit der eingetragenen Feststoffpartikel ab, so dass die feinkörnigen Anteile als Schwebstoffe über grössere Distanzen durch seeinterne Strömungen verfrachtet werden können, bevor sie zur Ablagerung gelangen, oder aber über den Seeausfluss diesen wieder verlassen.

Zunächst bewirkt die Ablagerung der eingetragenen Feststoffe eine Verminderung des Seevolumens, die letztlich zur Auflandung des Seebeckens führt. Namentlich bei der Bewirtschaftung von Stauhaltungen und Speicherseen kann die Verlandung zu ernsthaften Problemen führen, weil die Speicherkapazitäten verringert werden und technische Einrichtungen wie Grundablässe und Wasserfassungen eingesandet werden können. In den natürlichen Seen sind vor allem seichte Buchten, Schifffahrtsrinnen, Hafenbecken und Flachwassergürtel durch den Auflandungsvorgang gefährdet.

Die Erfassung von Schwebstoffführung und Schwebstofffrachten der Zubringer ist wichtig für die Prognose der Entwicklung von Stauräumen. Da die Schwebstoffe mengenmässig stärker ins Ge-

wicht fallen als das Geschiebe, sind sie auch als Mass für den Gebietsabtrag im Einzugsgebiet von Bedeutung. Der Gewässerschutz seinerseits interessiert sich für die Schwebstofffrachten, weil diese feinkörnigen Feststoffe kolloidale oder gelöste Inhaltsstoffe adsorbieren können und weil sie für die Kolmatierung von Gewässerstrecken verantwortlich sind.

Auch die im See schwebenden, nur teilweise zur Ablagerung gelangenden Feststoffpartikel stellen für die wirtschaftliche Nutzung der Seen Probleme dar. In Stauhaltungen und Speicherbecken führen diese Schwebstoffe zu Beschädigungen an Wasserkraftmaschinen (Abrieb der Turbinenräder). Wo das Wasser von künstlichen und natürlichen Seen für die Trinkwasseraufbereitung, als Kühlmittel oder für den Betrieb von Wärmepumpen etc. entnommen wird, führen die Schwebstoffe zu einer beschleunigten Abnutzung der Pumpenaggregate und Verstopfung von Filtern.

Eine wesentliche Rolle im Problemkreis der Wassergüte spielen die Tonminerale, welche zu den feinkörnigen Anteilen der Schwebstoffe gehören. Infolge ihrer grossen aktiven Oberfläche verfügen diese Partikel über hervorragende Adsorptionseigenschaften. Dadurch können unter anderem Düng- und Schadstoffe gebunden und dem Wasser durch Sedimentation entzogen werden.

Die Seeablagerungen gewinnen dann an Bedeutung, wenn Einbauten im See (Hafenmolen, Aufschüttungen, Leitungen, Kanalisationen etc.) zu planen und zu verwirklichen sind. Neben der Aufzeichnung der Ablagerungsdichte (Stratigraphie) müssen namentlich bodenmechanische Parameter bestimmt werden.

Eine weitere Bedeutung der stratigraphischen Analyse von Sedimentabfolgen ist die Rekonstruktion des Seezustandes im Laufe der Zeit, was auch Rückschlüsse auf die Entwicklung des Einzugsgebietes ermöglicht.

Daraus ergeben sich die folgenden Notwendigkeiten für Feststoffbeobachtungen in Seen und Stauräumen:

- Feststoffeintrag/Feststoffaustrag, zu messen in den Zu- und Abflüssen
- Geschiebefrachten in Deltas
- Konzentration der Schwebstoffe in Zeit und Raum
- Sedimentationsraten
- Volumenänderung infolge Umlagerung und Diagenese der Sedimente (Strömungsverhältnisse, Rutschungen, Gas- und Wassergehalt, Lagerungsdichte).

Hier sind die folgenden Feststoffcharakteristika wichtig:

- Zusammensetzung der Schwebstoffe (Kornverteilung, organisch/anorganisch, chemisch/mineralogisch, klastisch/aufliegen)
- Zusammensetzung der Sedimente
- Menge der Schwimmstoffe in Funktion von Zeit und Raum.

An weiteren Beobachtungen sind zu nennen: Wasserstandmessung, bodenmechanische Parameter, Strömungsmessungen, Trübungsmessungen, Wasserqualitätsbestimmung, bathymetrische Aufnahmen, Deltavermessungen, Aufnahmen bezüglich der Herkunft der Feststoffe (Fließgewässer, Ufererosion, Felsstürze, Rutschungen, Lawinen, Staubbiederschlag, künstlicher Eintrag, chemische und biogene Produktion).

## 2. ERFASSUNG VON FESTSTOFFFRACHTEN IN WILDBÄCHEN IM EINZUGSGEBIET DES ALPENRHEINS

Im Schlussbericht der Arbeitsgruppe für Feststoffbeobachtung (GHO 1987) ist ausführlich festgehalten, welche Methoden für die Feststoffbeobachtung heute zur Verfügung stehen. Im folgenden wird deshalb nur auf die Erhebungsmöglichkeiten ausgesuchter Parameter eingegangen.

### 2.1 MESSUNG DER FESTSTOFFFÜHRUNG

In Wildbächen ist grundsätzlich mit zwei Transportmechanismen zu rechnen:

- a) Transport ähnlich wie in Flüssen, d.h. eine Aufteilung in Geschiebe und Schwebstofftransport ist teilweise möglich.
- b) Murgänge oder Abflüsse mit sehr hohem Feststoffanteil.

Beide Mechanismen können im gleichen Bach auftreten; die Beobachtungseinrichtungen müssen diesen Umstand berücksichtigen.

Die direkte Messung der Geschiebeführung ist heute auf wenige Forschungsgebiete beschränkt. In der Schweiz sind dies im Moment der Erlenbach im Alptal, Kanton Schwyz, sowie der Spissibach im Berner Oberland.

#### 2.1.1 Messung mittels Unterwassermikrofonen (Hydrophonen)

Geschiebemessungen mittels Hydrophonen erlauben eine kontinuierliche Erfassung der Geschiebeführung in kleinen Einzugsgebieten.

Kurzbeschreibung:

Der Geschiebesensor ist an der Unterseite einer Stahlplatte angebracht, die in eine Betonsperre eingebaut ist. Das wichtigste Element des Sensors ist ein piezo-elektrischer Kristall. Rollen bei einem Hochwasser Steine über die Stahlabdeckplatte, so verursachen die Schläge der Steine Schwingungen, die auf den piezoelektrischen Kristall übertragen werden. Die Schwingungen erzeugen im Kristall eine Spannung, die verstärkt und gemessen wird. Aus der Grösse der Spannung kann auf die Intensität des Schlages geschlossen werden. Bei Hochwasser erfolgt im automatischen Messbetrieb die Datenaufzeichnung und -auswertung der Sensorschwingungen auf vereinfachte Weise. Jedesmal, wenn die Spannung einen minimalen Wert (Grenzwert) überschreitet, wird ein Impuls registriert. Die pro Zeiteinheit gemessene Anzahl Impulse ist ein Mass für die Intensität des über den Messquerschnitt erfolgten Geschiebetransportes.

**Genauigkeit:** Die bisherigen Auswertungen zeigen, dass Fehler bei der Umrechnung von aufsummierten Hydrophonimpulsen in eine Geschiebefracht bei etwa maximal  $\pm 100\%$  liegen. Die Eichbeziehung dürfte auch von den Korneigenschaften des transportierten Geschiebes abhängen. Eine periodische Vermessung des zugehörigen Geschiebesammlers ermöglicht es, die Aufzeichnungen der Geschiebesensoren mit den während der Hochwasser transportierten Feststoffen zu vergleichen. So kann diese neuartige Geschiebemessmethode gewissermassen geeicht werden.

**Aufwand:** Der Aufwand für die Wartung der Anlage ist gering. Ist die Anlage konstruktiv gut durchdacht und treten keine grösseren Abnutzungserscheinungen auf, so beschränkt sich der Wartungsaufwand auf eine Kontrolle der Empfindlichkeit der Geschiebesensoren im Abstand von einigen Jahren.

Vorteile/Nachteile: Direkte Messung der Geschiebeführung. Allerdings bedarf es zur Korrelation der Signale mit dem effektiven Geschiebedurchsatz einer genauen Eichung. Da zudem eine Verwendung an Standorten ohne Geschiebesammler nicht zu empfehlen ist (keine Kontrollmöglichkeit), ist die Installation von Hydrophonen auf entsprechend ausgestattete Wildbäche beschränkt.

Erfahrungsdauer: Seit 1986

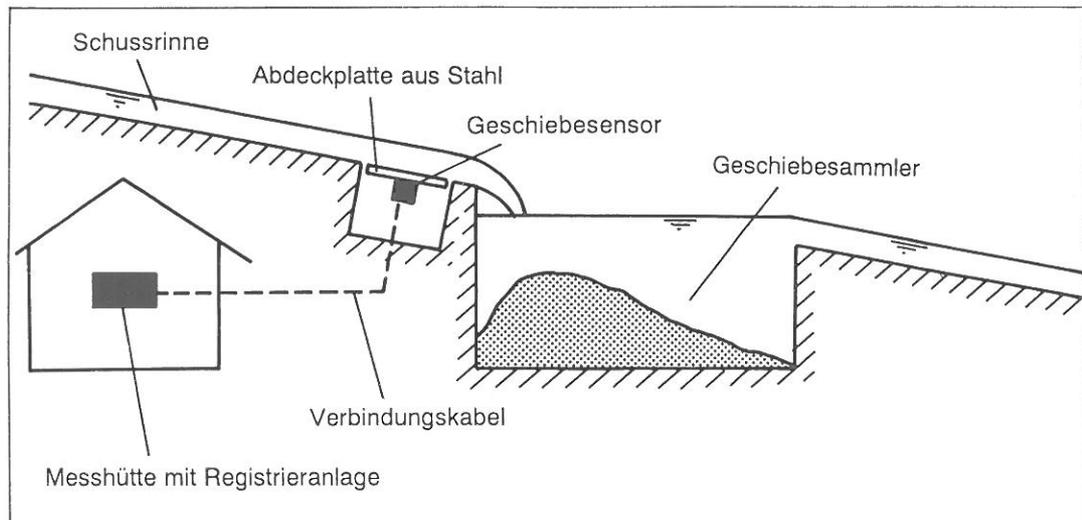


Fig. 3 Schematische Darstellung der Messanlage

### 2.1.2 Gemischstandmessung (Wasser + Feststoff) zur Bestimmung der Feststoffführung

Für die Bestimmung der Feststoffführung wird in Untersuchungsgebieten als Hilfslösung die Gemischstandmessung durchgeführt.

Bei kleineren Feststoffmengen aus kleinen Versuchsgebieten kann in einer "Pegelstation" die Abflusshöhe des Gemisches registriert werden, analog dem Wasserstand in Flüssen. Die Feststoffführung kann grob abgeschätzt werden, wenn gleichzeitig unterhalb eines bestehenden Geschiebesammlers, in welchem die abgelagerte Feststoffmenge nach dem Hochwasser zusätzlich erfasst werden kann, der Wasserabfluss (nun ohne Feststoffe) gemessen wird.

Aufwand für den Bau und Betrieb:	hoch
Genauigkeit:	unbekannt
Vorteile/Nachteile:	Das Feststoff-Wasserverhältnis bleibt unbekannt, womit nur grobe Schätzungen durchgeführt werden können.
Erfahrungsdauer:	Nur sporadische Ergebnisse bei einzelnen Wildbachereignissen.

### 2.1.3 Messung mittels Geschiebesammler

Die Messung der Feststoffführung mittels Geschiebesammler macht nur im Zusammenhang mit anderen Einrichtungen (Pegel, Hydrophone) Sinn. Ein Problem bildet dabei der meist unbekannt Anteil Schwebstoffe, welcher in der Regel ausgeschwemmt wird und somit nicht erfasst werden kann. Eine nähere Beschreibung der Geschiebesammler-Funktion erfolgt in Kapitel 2.2.



Fig. 4 Station mit Gemischstandmessung. Beispiel Dischmabach bei Davos, Graubünden.

## 2.2 MESSUNG DER FESTSTOFFFRACHT

Die Feststofffracht kann sich auf verschiedene Zeiträume beziehen:

- Fracht eines einzelnen Ereignisses (Ereignisfracht)
- Jahresfracht
- Mehrjahresfracht.

### 2.2.1 Methoden zur Erfassung der Feststofffracht in Geschiebesammlern

Die Erfahrung mit Geschiebeablagerungsmessungen zeigt, dass in der Regel nur dann akzeptable Messdaten erhalten werden, wenn das Geschiebe in Geschiebesammlern oder in gut definierten Geschiebestau-Rückhalteräumen aufgefangen wird. Auch so ist die erzielbare Genauigkeit der Resultate nur knapp ausreichend. "Unbehinderte" Ablagerungen, zum Beispiel in Form von Bachkegel-Übermürungsflächen können lediglich grob erfasst werden. Solche Ablagerungsdaten sind deshalb nur als sehr generelle Grössenordnungsangabe einstuftbar.

Als Messanlage kommt praktisch nur ein voll wirksamer Geschiebesammler in Frage, dessen Standort so beschaffen ist, dass bachaufwärts weder namhafte Ablagerungen noch Bachausbrüche möglich sind. Der geeignetste Standort eines Geschiebesammlers für Messzwecke ist der Kegelhals. Es gibt bezüglich Form, Grösse sowie Ein- und Auslassbauwerk verschiedene Arten von Geschiebesammlern. Für die Erfassung von Feststoffdaten sind nur geschlossene Bauwerke angepasster Grösse sinnvoll.

Neben den Geschiebesammlern in Untersuchungsgebieten betreibt in der Schweiz die Gruppe für operationelle Hydrologie zusammen mit der Landeshydrologie und -geologie und kantonalen Instanzen ein gesamtschweizerisches Messnetz von momentan 48 Geschiebesammlern.



Fig. 5 Geschiebesammler Schipfenbach, Reusstal, Kt. Uri

Kurzbeschreibung:

Ein Geschiebesammler ist ein künstliches Ablagerungsbecken für Feststoffe, vornehmlich für Geschiebe, welches meistens mit einem Auslaufbauwerk abgeschlossen ist.

- |                     |   |
|---------------------|---|
| Aufwand:            | Für die Erstellung: gross.<br>Für die Räumung: Aufwand abhängig vom Kubikinhalte des Sammlers.  |
| Genauigkeit:        | Genügend für viele Fragestellungen. Für eine Gesamterhebung von Geschiebe und Schwebstoffen ungenügend, da letztere in der Regel ausgeschwemmt werden und somit nicht bestimmbar sind. Deshalb werden in ausgesuchten Gewässern Feststoffsammler in Serie betrieben (Geschiebesammler, Schwebstoffsammler). |
| Vorteile/Nachteile: | Aus Kostengründen sind entsprechende Standorte an bereits bestehende Sammler gebunden. Da die Sammler meistens zu Schutzzwecken gebaut und betrieben werden, müssen sie nach Hochwassern geräumt werden. Die Erfassung der Fracht bedingt deshalb praktisch keinen Mehraufwand.                             |
| Erfahrungsdauer:    | Langjährig.   |

Für die Erfassung der Geschiebefrachten in Geschiebesammlern sind verschiedene Methoden gebräuchlich:

#### A. BESTIMMUNG DER ABLAGERUNGSKUBATUREN MIT HILFE VON PROFILAUFNAHMEN (VERMESSUNG).

Bei der Bestimmung der Ablagerungskubaturen mit Hilfe von Profilaufnahmen werden Profile in immer genau definierten Abständen aufgenommen. Nach Leerung des Sammlers wird jeweils eine Neuvermessung vorgenommen.

- |              |                                      |
|--------------|--------------------------------------|
| Genauigkeit: | Ausreichend bis hoch                 |
| Aufwand:     | Abhängig von der Grösse des Sammlers |

Vorteile/Nachteile: Durch die jeweilige 'Maschenweite' des Netzes können sich grössere Ungenauigkeiten ergeben (Nichterfassung von grösseren Unebenheiten auf der Ablagerungsfläche).

Erfahrungsdauer: Gross

## B. BESTIMMUNG DER RÄUMKUBATUREN DURCH ZÄHLEN DER LASTWAGENLADUNGEN

Das Auszählen der abtransportierten Kubikmeter Geschiebe resp. der abtransportierten Wagenladungen ist eine beliebte Schätzmethode, jedoch verbunden mit entsprechend grosser Ungenauigkeit. Sie funktioniert nur, wenn das gesamte Ablagerungsmaterial geräumt wird (es darf weder zuviel noch zuwenig Geschiebe entnommen werden).

Genauigkeit: Gering bis genügend

Aufwand: Bei vorhandener Messanlage zeitlich und personell gering, sonst gross. Die Geschiebesammler sollen eine wichtige Schutzfunktion ausüben. Dadurch werden sie nach jedem grösseren Ereignis geleert.

Erfahrungsdauer: Gross.

## C. BESTIMMUNG DER RÄUMUNGSKUBATUREN DURCH WÄGUNG DER LASTWAGEN

Die Lastwagen fahren auf eine mobile Wägeschwelle. Dabei müssen die Gewichtskonstanten (Lastwagen, Füllgrad des Tankes usw.) bekannt sein.

Genauigkeit: Gut

Aufwand: Nebst Aufstellung und Unterhalt der mobilen Waage gering

Erfahrungsdauer: Seit vielen Jahren gebräuchlich.

### 2.2.2 Erfassen von Übermurungen sowie der Erosionsgebiete

Die Kubaturen werden möglichst kurz nach einem Ereignis erhoben. Sie können ausgemessen oder geschätzt oder aber mittels Räumung bestimmt werden. Ablagerungen und Erosionsgebiete können auch photogrammetrisch erfasst werden.

#### A. AUSMESSEN ODER SCHÄTZEN VON ABLAGERUNGEN

Die Geschiebeablagerungsflächen auf den Schwemm- oder Murkegeln werden ausgemessen oder geschätzt (bei Annahme einer mittleren Ablagerungsmächtigkeit). Die erodierten Kubaturen aus den Erosionsgebieten werden geschätzt.

Genauigkeit: Für Angabe von Grössenordnungen genügend

Aufwand: Gering

Vorteile/Nachteile: Rasche Erhebung ohne aufwendigen Instrumenteneinsatz. Die Erhebungen müssen sofort nach dem Ereignis durchgeführt werden, weil durch Aufräumarbeiten die Spuren rasch beseitigt werden. Schätzungen sind jedoch immer problematisch, weil die Ergebnisse stark vom Erfahrungsgrad des Ausführenden abhängen. Zudem kann die Ablagerungsmächtigkeit stark variieren, so dass die Angabe eines Durchschnittswertes zu Fehleinschätzungen führen kann.

Erfahrungsdauer: In Einzelfällen mehrere Jahre, Durchführung eher selten.

## B. ERFASSUNG DER KUBATUREN DURCH RÄUMUNG

Hier gilt dasselbe Prinzip wie bei den Geschiebesammlern. Nach Grossereignissen ist die genaue Erfassung der Anzahl Lastwagenladungen jeweils schwierig, was oft auf Koordinationsprobleme zurückzuführen ist.

## C. PHOTOGRAMMETRISCHE ERFASSUNG VON ABLAGERUNGS- BZW. EROSIONSKUBATUREN

Bei der Erfassung von Ablagerungs- oder Erosionskubaturen durch photogrammetrische Aufnahme muss der Zustand vor dem Ereignis bekannt sein. Weiter ist der möglichst detaillierte Verlauf des Murgangereignisses (insbesondere Aufnahme der Murgangspuren) festzuhalten.

Genauigkeit:	Das Verfahren liefert eine Grössenordnung für die Feststofffracht.
Aufwand:	Mittelmässig, abhängig von Instrumenten und Ablagerungsfläche sowie Grösse des Erosionsgebietes.
Vorteile/Nachteile:	Gegenüber einer Schätzung viel genauere Resultate. Die Auswertung muss durch spezialisierte Fachleute (Privatbüros, Institute) vorgenommen werden.
Erfahrungsdauer:	Wird seit langem nach Grossereignissen durchgeführt.

### 3. ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN IM ALPEN-, OBER- UND NIEDERRHEIN SOWIE SEINER NEBENFLÜSSE

#### 3.1 ERFASSEN VON FESTSTOFFEN IN FLÜSSEN DER SCHWEIZ

Gemessen werden Geschiebe und Schwebstoffe. Die Sohlenerosion und Bettveränderungen werden durch periodische Peilungen verfolgt. Die Geschiebeführung kann in den schweizerischen Flüssen nicht direkt gemessen werden. Als Hilfslösung bietet sich die Abschätzung der Geschiebeführung mit Fangkörben an.

##### 3.1.1 Messung der Geschiebeführung mittels Fangkorb

Kurzbeschreibung:

Das laufende Geschiebe wird in einem wasserdurchlässigen Behälter aufgefangen, der nur gegen Oberwasser ganz offen ist. Ein solches Gerät wurde in der Schweiz nur sporadisch verwendet und ist seit einiger Zeit nicht mehr in Betrieb. Eine Abbildung eines Helley-Smith-Samplers findet sich in Fig. 42.

**Genauigkeit:** Der Fangkorb muss geeicht werden. Der "Wirkungsgrad" (aufgefangenes Geschiebe/laufendes Geschiebe) ist wesentlich kleiner als 100% und ist nicht konstant. Wegen der komplexen Verhältnisse in der Natur ist eine Eichung des Fangkorbes nur bedingt verlässlich. Die Messung ist punktuell, die Repräsentativität kann nur durch eine grosse Anzahl Messungen (örtlich und zeitlich) erreicht werden.

**Aufwand:** Personal- und geräteintensiv, wenn genügende Genauigkeit und Aussagekraft erreicht werden soll. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten ist die Messung extrem schwierig, wenn nicht sogar unmöglich.

**Vorteile/Nachteile:** Prinzipiell überall einsetzbar, Einschränkungen ergeben sich jedoch bei Genauigkeit und Aufwand. Der Schluss auf Geschiebeführung ist nur möglich, wenn der Wirkungsgrad bekannt ist und wenn genügend Messungen im Moment des Auftretens geschiefeführender Abflüsse gemacht wurden. Bei grossem Geschwemmeltransport kann der Fangkorb durch Treibgut gefüllt resp. verstopft werden, was die Interpretation im Extremfall verunmöglicht.

**Erfahrungsdauer:** Sporadische Einsätze.

##### 3.1.2 Messung der Geschiebefracht

Im Vordergrund steht die Erfassung einer jährlichen Geschiebefracht. Die Frachten von Extremereignissen abzuschätzen ist äusserst schwierig, ist aber für die Planung von Hochwasserschutzbauten wichtig.

Auch in Flüssen ist es unbedingt erforderlich, die "Netto"-Geschiebefrachten zu bestimmen und den Schlammanteil abzuschätzen. Streng genommen müssten die Frachten nach Kornfraktionen aufgeteilt werden können. Diese Information kann aber nur bei kommerzieller Kiesgewinnung eventuell erhalten werden. Damit ein Vergleich zu einer rechnerischen Behandlung des Geschiebetransports möglich ist, müssen mindestens einige Angaben über den Korngrössenbereich und die häufigsten Korngrössen gemacht werden können.

Es können die folgenden Standorte resp. Erfassungsmöglichkeiten unterschieden werden:

– Ausgebaute Geschiebesammler mit regelmässiger Räumung (Beispiel Emmemündung).

- Aus flussbaulichen Gründen erforderliche feste Baggerstellen, mit regelmässigem Ausbaggern einer Grube, in der sich alles ankommende Material ablagert (Beispiel Mündung des Rheins in den Bodensee).
- Kommerzielle Baggerstellen mit vollständigem Auffangen des Geschiebes in einer Grube, Bagge- rung meist durch feste Installationen (Beispiel Maggia bei Avegno).
- Flussabschnitte mit periodischen Baggerungen der gleichen Strecke, aus kommerziellen oder/und flussbaulichen Gründen, mit zeitweiligem, aber nicht permanentem vollständigen Auffangen des Geschiebes (Beispiele Murg bei Frauenfeld und Reuss bei Amsteg).
- Unregelmässige örtliche Entnahme, meist aus kommerziellen Interessen mit dem Einsatz von mo- bilen Geräten (Beispiel Reuss bei Erstfeld).
- Ablagerungen in Seen und Stauhaltungen sowie periodischer Bagge- rung (Beispiel Thurmündung).
- Ablagerungen in Seen und Stauhaltungen. Erfassung der Veränderungen durch wiederholte Delta- vermessungen (Beispiel Reussdelta).

Bei kommerzieller Ausbeutung wird die Kubatur meist durch Wägung der Lastwagen, welche den Flusskies abführen, bestimmt. Auch bei Räumung von Geschiebesammlern ist diese Methode gebräuchlich, da die Kubaturen für die Abrechnungen bestimmt werden müssen. Weniger genau ist natürlich eine Erfassung nur über die Anzahl der Lastwagenfahrten, aber auch diese Methode kann bei konsequenter Durchführung immer noch brauchbare Resultate liefern.

### 3.1.2.1 Messung der Geschiebefracht in Geschiebesammlern

Kurzbeschreibung:

Die Ausmessung des Geschiebevolumens in einem künstlich geschaffenen Absatzbecken mittels Ni- vellements oder photogrammetrisch, ist nur an topographisch geeigneten Orten möglich.

Es bestehen in der Schweiz jedoch nur wenige echte Geschiebesammler in Flüssen, wie beispie- lweise an der Grossen Emme kurz vor der Mündung in die Aare.

Aufwand:	Für Aufnahme und Auswertung gross
Genauigkeit:	Sie ist abhängig von der Punktdichte der Vermessung und proportional zur ab- gelagerten Schichtdicke.
Auswertung und Interpretation:	Für Rückschlüsse auf den Geschiebeanteil müssen die Anteile der Schwebstoff- ablagerungen sowie das Raumgewicht der Ablagerungen berücksichtigt wer- den. Das heisst: Es sind zusätzlich Schwebstoffmessungen zu empfehlen.
Erfahrungsdauer:	Ca. 20 Jahre.

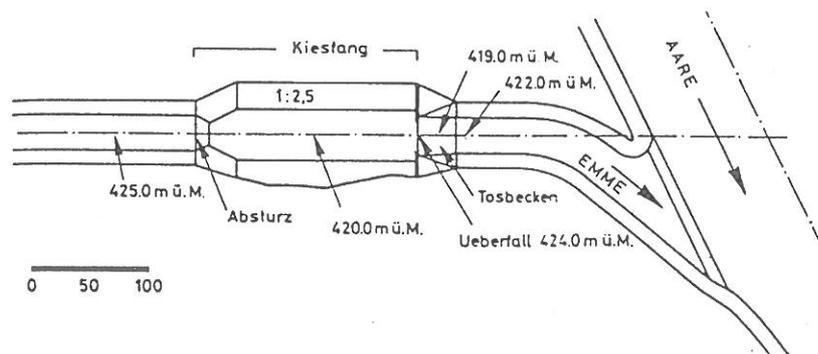


Fig. 6 Schematische Darstellung des Geschiebesammlers Luterbach, oberhalb der Mündung der Grossen Emme in die Aare

### 3.1.2.2 Messung der Geschiebefracht mittels lokaler Baggerungen

Wird mit Schwimmbaggern innerhalb einer festgelegten Fläche und festgelegtem Tiefenbereich gearbeitet (Beispiel Rheinmündung Bodensee), sind die Verhältnisse ebenfalls klar definiert wie in einem Geschiebesammler. Etwas ungünstiger sind Entnahmestellen, in welchen mit mobilen Geräten gearbeitet wird. An solchen Stellen dürften nur die mehrjährigen Mittelwerte nützlich sein. Auszuschliessen sind Entnahmestellen, wo auch anstehendes Material ausgebeutet wird, das mengenmässig von Flussgeschiebe nicht unterschieden werden kann.

Kurzbeschreibung:

Es werden die ausgebeuteten Geschiebekubaturen erfasst und ausgewertet. Besonders geeignet sind hierzu die Flussmündungen.

Genauigkeit: Durch zeitliche Veränderung der Geometrie des Baggerloches und der hydraulischen Verhältnisse (Geschiebezufuhr und -durchgang) wird die Genauigkeit beeinflusst. Da in den Baggerlöchern neben dem Geschiebe auch ein Teil der Schwebstoffe aufgefangen wird, müssten bei dieser Methode allenfalls die Schwebstoffanteile durch Analyse des Baggergutes bestimmt werden.

Aufwand: Abhängig von den Örtlichkeiten.

Vorteile/Nachteile: Das Hauptproblem bei dieser Methode liegt darin, dass die Baggerungen häufig durchgeführt werden müssen, die Unterlagen nur schwer zugänglich und in den meisten Fällen zu ungenau sind, um eine zuverlässige Interpretation zu ermöglichen. Wegen den auf die Nutzung ausgerichteten Ausbeutungsmethoden (Angebot/Nachfrage) können Auswertungen in Richtung Extremereignisse nicht immer ausgeführt werden. Um diese Situation zu verbessern, müssten genaue Vorschriften über die Art und Weise der Ausbeutung sowie der Erfassung der Kubaturen aufgestellt werden.

### 3.1.3 Messung der Schwebstoffführung

Als Schwebstoffe bezeichnet man definitionsgemäss den durch die Turbulenz in Schwebelagen gehaltenen Feststoffanteil.

Für die Erarbeitung von Grundlagen über den Schwebstofftransport ist es unerlässlich, aus möglichst langen Messreihen Korngrössenspektren des suspendierten Materials zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass die Kornverteilung weder örtlich noch zeitlich konstant ist. Aus den langen Messreihen ergibt sich ein statistisch relevantes Bild der in Suspension transportierten Feststoffanteile.

Die verschiedenen Herkunftsbereiche der Schwebstoffe, wie

- Bodenerosion im Einzugsgebiet
- Gerinneerosion
- Einleitungen (Kanalisationen, Kläranlagenabläufe etc.)
- Biologisch-chemische Vorgänge (Ausfällungen)
- Bauliche Arbeiten, Baggerungen, Kieswaschanlagen etc.

lassen erkennen, dass von der Zusammensetzung her mineralische und organische Schwebstoffe zu unterscheiden sind.

Nach Ansicht der schweizerischen Experten gibt es heute keine befriedigende, operationelle Methode zur direkten Messung der Schwebstoffführung. Als Hilfslösung wird in der Schweiz die

Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Flussquerschnitt gemessen und mit Hilfe der zusätzlich gemessenen Geschwindigkeitsverteilung auf die Schwebstoffführung geschlossen.

Um die Schwebstoffkonzentration in einem Querschnitt zu bestimmen, müssten eigentlich möglichst viele Proben über das Profil verteilt in verschiedenen Tiefen und erst noch gleichzeitig entnommen werden. Der dazu erforderliche enorme Aufwand an Personal, Geräten und Zeit zwingt jedoch zur Reduktion auf wenige Punkte (oder einen einzigen) pro Querschnitt, wenn es sich um Routinemessungen handelt, die möglichst oft durchgeführt werden sollen.

Stehen genügend Proben zur Verfügung, kann auf die Schwebstoffführung geschlossen werden. Der Rückschluss auf die Schwebstoffführung bedingt jedoch die Annahme, dass die Geschwindigkeit der Schwebstoffe gleich der Fließgeschwindigkeit des Wassers ist. Die Schwebstoffführung eines einzelnen Hochwassers jedoch kann bei einer manuellen Probeentnahme nur in seltenen Fällen erfasst werden (Schwierigkeit, rechtzeitig am Platz zu sein sowie Unfallrisiken bei Hochwasser).

### 3.1.3.1 Messung der Schwebstoffkonzentration

Die Schwebstoffkonzentration lässt sich durch direkte Messungen relativ einfach bestimmen. Die Messungen mit den manuellen Entnahmegewehren liefern in einem bestimmten Punkt des Messquerschnittes einen quasi momentanen Konzentrationswert. Um laufend die Konzentrationswerte in anderen Punkten des Querschnittes oder um die mittlere Konzentration im Querschnitt zu bestimmen, müssten weitere punktuelle Proben genommen werden. Dies bedingt einen grossen Aufwand an Zeit und Personal. Die LHG suchte deshalb nach Methoden, welche die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration anhand einer oder weniger Einzelmessungen erlauben. Hierzu führte sie eine grosse Anzahl von Untersuchungen durch, mit den Zielen:

- die momentane Konzentrationsverteilung in einem Flussquerschnitt zu bestimmen
- und die Änderung der Schwebstoffkonzentration in einem Punkt des Querschnittes in Funktion der Zeit zu messen.

Die Auswertung zahlreicher Messungen führte zur Erkenntnis, dass sowohl die Konzentrationsverteilung im Flussquerschnitt als auch die Grösse der Konzentration vom Abfluss (d.h. Pegelstand und Fließgeschwindigkeit) abhängig ist. Auf Grund der Beobachtungen ist es der LHG auch gelungen, für bestimmte Zeiträume und für einzelne Beobachtungsstellen (Stationen), Beziehungen zwischen Konzentration und Abfluss zu formulieren.

Es ist allerdings nicht bei allen Stationen der LHG möglich, solche "Beziehungen" aufzustellen. Es gibt Stellen wo die Abflüsse künstlich so stark beeinflusst sind, dass keine Gesetzmässigkeiten mehr erkannt werden können. Dies ist meistens der Fall, wenn die Abflussmenge durch Eingriffe so gedrosselt (zurückgehalten oder abgeleitet) wird, dass zwischen Wettergeschehen und Abfluss kaum mehr eine normale Beziehung besteht (z.B. Winterhalbjahr 1969 Rhein-Bad Ragaz: Abfluss praktisch konstant, d.h. zwischen 50 und 80 m<sup>3</sup>/s und Konzentrationsschwankungen zwischen 6 und 3000 g/m<sup>3</sup>).

Grundsätzlich kommen zwei Arten der Schwebstoffprobenentnahme in Frage:

- manuelle Entnahme
- automatische Entnahme.

Die automatische Entnahme von Wasserproben weist gegenüber der manuellen Methode den Vorteil auf, dass auch kurze Ereignisse mit genügender Probendichte erfasst werden können. Es werden aber sehr unterschiedliche Probennahmegewehre verwendet, was den Vergleich der Messresultate stark erschwert resp. verunmöglicht.

## A. GERÄTE FÜR DIE MANUELLE ENTNAHME

In der Schweiz werden u.a. die folgenden Gerätetypen für die manuelle Schwebstoffentnahme verwendet:

- a) Entnahmegesetz an Stange, SGS, M266 D/10
- b) Entnahmegesetz an Leine, 1970, (SGLN)
- c) Messwagen der LHG, 1967

### a) Entnahmegesetz an Stange, SGS M266 D/10

Kurzbeschreibung:

Geeignet für kleinere schweizerische Gewässer mit alpinem Charakter. Es eignet sich für Punktmessungen in Oberflächennähe und tiefenintegrierende Entnahmen. Die Ermittlung der Konzentration geschieht durch Filtration im Labor.

Die Schwebstoffe werden in einer 1-Liter Plastikflasche gesammelt. Die Entnahmeflasche wird hierzu an einem hydrodynamisch geeignet geformten Körper befestigt, der an einer Stange montiert ist. Das Gerät wiegt 1.3 kg und weist eine Länge von 33 cm auf. Die Düsenöffnung beträgt 5 mm.

- Genauigkeit: Genügend, setzt aber Repräsentativität der Messpunkte (im Querprofil, zeitlich) voraus.
- Aufwand: Bedingt durch die grosse Anzahl der notwendigen Probenentnahmen sowie der zusätzlich notwendigen Geschwindigkeitsmessungen (damit von der Konzentration auf die Schwebstoffführung geschlossen werden kann), beträchtlich.
- Auswertung: Analyse der Proben im Labor, Genauigkeit gut, Aufwand abhängig von Zahl der Proben.
- Vorteile/Nachteile: Falls genügend Proben zur Verfügung stehen, kann auf die Schwebstoffführung relativ verlässlich geschlossen werden. Es besteht aber die Schwierigkeit, bei dieser Methode rechtzeitig bei einem kurzfristigen Ereignis am Platz zu sein, um dieses überhaupt erfassen zu können. Zu beachten ist ferner, dass nur die Konzentration bestimmt wird. Der Rückschluss auf die Schwebstoffführung bedingt die Annahme, dass die Geschwindigkeit der Schwebstoffe gleich der Fliessgeschwindigkeit des Wassers ist und bekannt sein muss. Der Aufwand kann eventuell reduziert werden durch Messungen in repräsentativen Messpunkten des Querprofils (siehe Untersuchungen der Landeshydrologie).
- Erfahrungsdauer: ca. 30 Jahre.

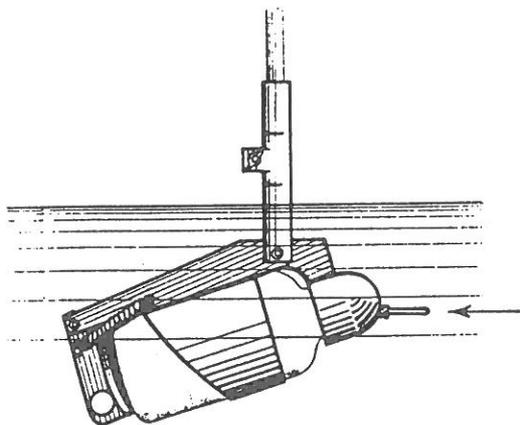


Fig. 7 Entnahmegesetz an Stange, SGS M266 D/10

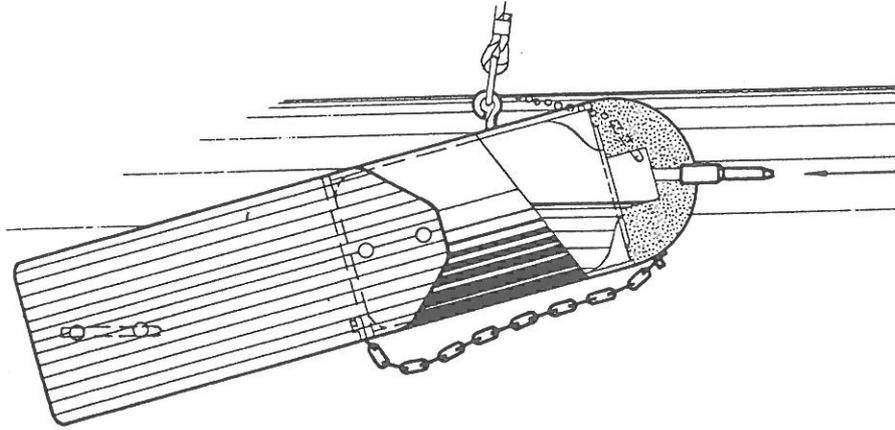


Fig. 8 Entnahmegerät an Leine, 1970, SGLN

b) Entnahmegerät an Leine, 1970 (SGLN)

Das Gerät wird an einer Leine eingesetzt. Es hat ein Gewicht von 8 kg und eine Länge von ca. 38 cm. Die Öffnung der Eintrittsdüse beträgt 4 mm. Die Entnahmeflasche aus Plastik hat einen Inhalt von 1 Liter und wird im Innern des Entnahmegerätes angebracht.

Vorteile/Nachteile: Das Gerät kann aus grösserer Höhe (Brücken) eingesetzt werden. Es ist auch für Flüsse mit Fließgeschwindigkeit grösser als 2,5 m/s geeignet. Es ermöglicht eine rasche Probenahme ohne grössere Vorbereitung. Es sind jedoch nur oberflächennahe Punktmessungen möglich. Bei grösseren Fließgeschwindigkeiten besteht die Gefahr des Abdriftens.

c) Messwagen der LHG, 1967

Der Messwagen der LHG, 1967, eine Eigenentwicklung, erlaubt automatisch integrierende Messungen über die Wassertiefe. Da die Eintrittsdüse ferngesteuert geöffnet und geschlossen werden kann, können auch separate Einzelproben aus jeder beliebigen Wassertiefe entnommen werden. Eine Brücke ist für den Einsatz des Messgerätes Voraussetzung.

Das Entnahmegerät wiegt ca. 60 kg und hat eine Länge von 188 cm. Die Düsenöffnung beträgt 4 mm. Auf dem Wagen befindet sich zudem ein elektrischer Motorkran zum Heben und Senken des Flügelgewichts und ein Steuerpult. Mit dem gleichen Messwagen können auch Fließgeschwindigkeitsmessungen ausgeführt werden, indem anstelle des Entnahmegerätes ein hydrometrischer Flügel montiert wird.

Genauigkeit: Gut

Vorteile/Nachteile: Durch das Gewicht des Entnahmekörpers besteht geringe Gefahr des Abdriftens. Probenahmen sind an jeder beliebigen Wassertiefe möglich. Das Gerät ist jedoch schwer und kann nur mit mindestens zwei Personen eingesetzt werden. Probenahmen können nur von einer Brücke aus getätigt werden.

Erfahrungsdauer: ca. 25 Jahre.



Fig. 9 Messwagen der LHG für die Messung von Schwebstoffkonzentrationen

## B. SCHWEBSTOFFPROBENENTNAHMEN MIT AUTOMATISCHEN GERÄTEN

Über langjährige Erfahrungen verfügt man in der Schweiz mit den folgenden Geräten:

a) ASP 9260 und 9160, b) ISCO 1600, c) ASPEG.

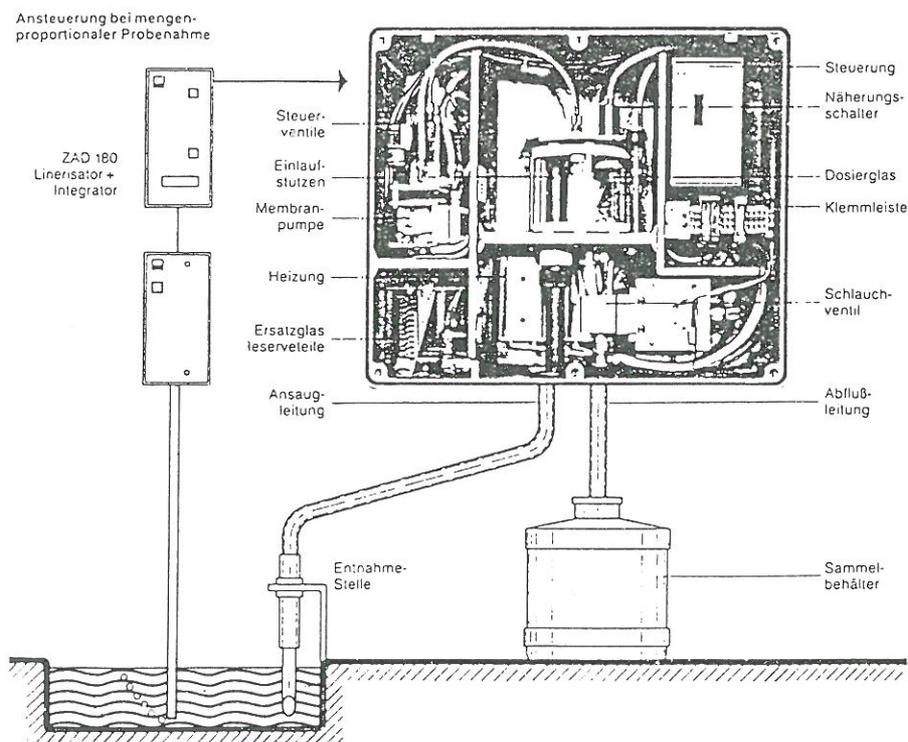


Fig. 10 ASP 9260

a) ASP 9260

Kurzbeschreibung:

Das ca. 15 kg schwere Gerät ist einem 410 mm hohen, 485 mm breiten und 197 mm tiefen Gehäuse untergebracht. Das Probenvolumen beträgt 10 bis 500 ml. Die Wasser-Schwebstoffgemisch-Proben werden durch einen kleinen, max. 30 m langen Schlauch lokal von einem Punkt aus dem Gewässer gepumpt. Der zeitliche Abstand ist vorher bestimmt, eventuell abflussproportional. Der Beginn kann von Hand ausgelöst werden oder über einen wasserstands- und/oder trübungsabhängigen Sensor. Der Einsatz des Gerätes ASP 9260 beschränkt sich auf Abflussmessstationen der EAFV an kleinen Bächen in den Voralpen des Kantons Schwyz (Alptal). Das wildbachartige Regime erforderte den Einsatz eines Gerätes, welches auch bei stark schwankender Wasserführung zuverlässige Sammelproben entnimmt. Seit 1975 steht ein ähnlicher Gerätetyp, das Entnahmegesetz ASP 9160, für die automatische Q-proportionale Probenahme im Rahmen des "Nationalen Programmes für die analytische Daueruntersuchung der schweizerischen Fließgewässer" im Einsatz.

Genauigkeit:	Wie bei manueller Probenentnahme. Da aber normalerweise nur in einem Punkt des Querprofils abgesaugt werden kann, sind Eichungen mit manueller Entnahme notwendig.
Aufwand Geräte:	Klein
Unterhalt:	Gross
Vorteile/Nachteile:	Zeitweiliges Auftreten von Störungen
Erfahrungsdauer:	Ca. 20 Jahre.

b) ISCO 1600

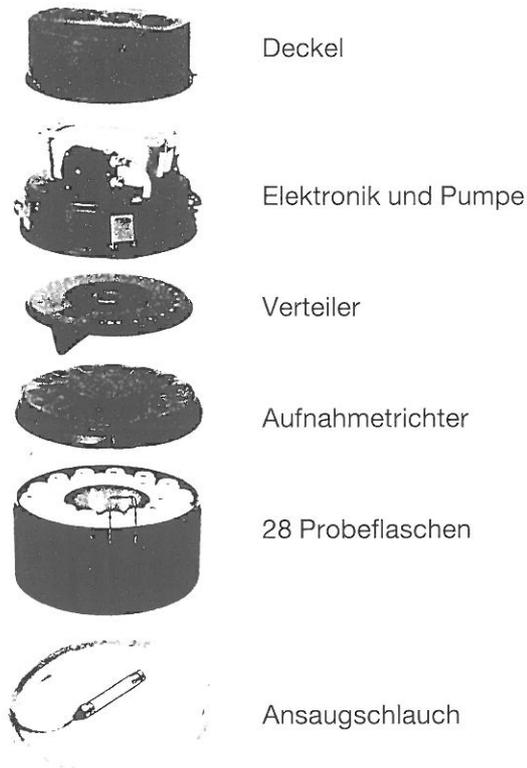


Fig. 11 ISCO 1600

Kurzbeschreibung:

Das Gerät ISCO 1600 hat einen Durchmesser von 50 cm und wiegt 18 kg. Als Stromquelle dient ein 12 V-Ni/cd Akku oder Netzanschluss. Der Akku gewährt ca. 4 Stunden Pumpbetrieb. Das Gerät wurde bisher im Rahmen verschiedener Forschungsarbeiten eingesetzt. Die Probenahme erfolgt durch Pumpen über einen Ansaugstutzen und Schlauch, mit welchem bis zu 28 Flaschen gefüllt werden können.

Genauigkeit: Zufriedenstellend

Vorteile/Nachteile: Das Gerät bedarf wenig Wartung. Ausfälle waren ausnahmslos auf den elektronischen Teil beschränkt, die Störungen im allgemeinen rasch behoben.

Erfahrungsdauer: Zwischen 1979-1982 waren im Rahmen der Reusstalforschung ETH zwei solche Geräte im Einsatz. Seit 1982 wird bei der Messstation Rietholz bach mit einem solchen Gerät gemessen. 1985/86 wurde ein Gerät beim KW Wynau eingesetzt.

### c) Entnahmegerät ASPEG

Dieses Gerät wurde im Hinblick auf den Einsatz in schwer zugänglichen Gebieten mit einer autonomen Stromversorgung konzipiert und entwickelt. Das Entnahmegerät ist zur Zeit an zwei Stellen im Berner Oberland in der Erprobungsphase. Im Einsatz hat sich das Gerät bisher bewährt.

Kurzbeschreibung:

Das Gerät ist in einer Aluminiumkiste integriert und wiegt bei Abmessungen von 62x60x55 cm 30 kg. Das Gerät wird von einer 12 V Batterie mit Strom für die Elektronik und die Schlauchquetschpumpe versorgt. Die elektronische Schaltung steuert den gesamten Ablauf der automatischen Probeentnahme, vom Ausstoss des Restwassers im Schlauch über die Spülung und die Flaschenabfüllung. Ein Unterdruckfühler sorgt bei einer verstopften Zuleitung für das Umschalten der Pumpe (Ausspülen). Es können insgesamt 25 Literflaschen abgefüllt werden. Die Probenahmeintervalle sind frei wählbar von 5 Minuten bis zu einer Probe pro Tag. Das Gerät kann auch über einen Data-logger angesteuert werden, so dass ereignisabhängige Proben genommen werden können.

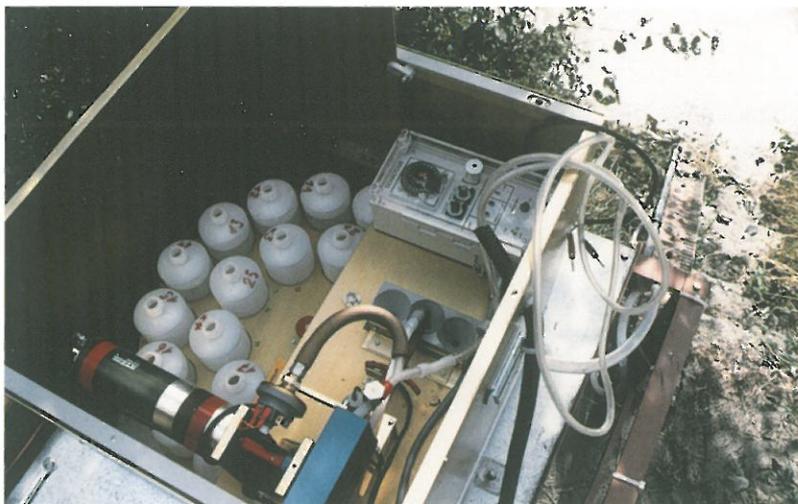


Fig. 12 Probeentnahmegerät ASPEG

Aufwand: Nach Installation des Gerätes gering  
 Genauigkeit: Zufriedenstellend  
 Vorteile/Nachteile: Mit dem Entnahmegerat können auch Hochwasser erfasst werden. Für grössere Hochwasserereignisse fehlen im Moment noch entsprechende Erfahrungen. Probleme treten auf, wenn die Einlassdüse durch Geschwemmsel verstopft wird.  
 Erfahrungsdauer: Die beiden Geräte stehen seit zwei Jahren im Einsatz.

#### *d) Trübungsmesser*

Kurzbeschreibung:

Eine Lichtquelle wirkt aus einem gegebenen Abstand auf eine Fotozelle. Das Medium dazwischen beeinflusst die Lichtintensität auf der Zelle. Im Wasser ist die Lichtintensität mit der Schwebstoffführung korreliert und auch abhängig von der Kornform und Mineralogie. Die Methode wurde schon an diversen Orten (z.B. Prozessfotometer MEX 2 in der Aare durch die LHG) eingesetzt.

Aufwand Geräte: Klein  
 Genauigkeit: Genügend, jedoch abhängig von der Eichung  
 Vorteile/Nachteile: Gute Eichung vorausgesetzt, kann eine genaue Erfassung der Schwebstoffführung erwartet werden. Allerdings ist das Signal auch korngrößenabhängig, was die Eichung erschwert oder Koppelung mit anderen Verfahren notwendig macht. Bei Verschmutzung der Fenster besteht Gefahr des Nulldrifts. Automatische Reinigungsverfahren (Scheibenwischer) bringen Abhilfe.



*Fig. 13 Trübungsmessgerät*

## **3.2 ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN IN DEUTSCHLAND**

### **3.2.1 Entnahme von Bodenproben**

Die Kenntnis der Beschaffenheit der Gewässersohlen ist wichtige Voraussetzung für die Lösung von Sedimenttransportproblemen. Unmittelbar an der Sohlenoberfläche entnommene Proben gestatten z.B. kurzfristige Aussagen über die Erosionsfähigkeit, Tiefenprofilproben ermöglichen längerfristige Prognosen.

#### **3.2.1.1 Entnahme von Oberflächenproben**

Je nach der Sohlenbeschaffenheit, der Strömungsgeschwindigkeit und der erforderlichen Probenmenge werden per Hand oder mittels Winde betriebene Greifer eingesetzt.

a) Greifer System van Veen

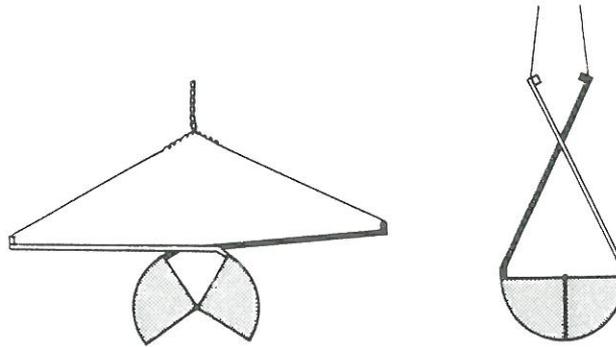


Fig. 14 Greifer System van Veen

Kurzbeschreibung:

Der van-Veen-Greifer besteht aus 2 Backenschalen mit Hebelarmen und steht in verschiedenen Grössen sowohl für Hand- als auch mechanischen Betrieb mittels Winde zur Verfügung.

Je nach Grösse schwankt die Beprobungsfläche zwischen  $0,15 \times 0,15 \text{ m} = 0,023 \text{ m}^2$  bis  $0,50 \times 0,50 \text{ m} = 0,25 \text{ m}^2$ .

Verfahren:

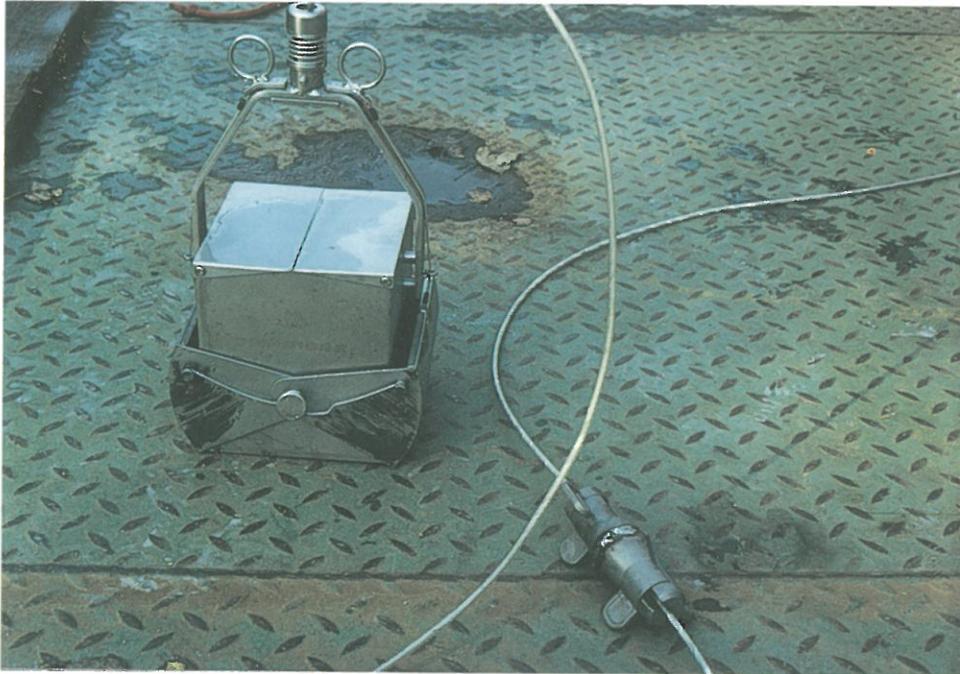
Der geöffnete, mit einem Haken gesicherte Greifer wird abgesenkt. Beim Aufliegen an der Sohle klinkt sich der Haken aus. Beim Anheben werden die Greiferbacken über die Hebelarme geschlossen und schliessen einen Teil der Sohlenoberfläche mit ein.

Genauigkeit: Die Schnitttiefe bei der Probenahme ist gering und nicht definiert. Es kann vorkommen, dass sich der Greifer nicht schliesst, da grobe Kieskörner zwischen den Backen eingeklemmt sind. Feine Körner werden beim Anheben ausgespült, so dass die Probenahme wiederholt werden muss. Grobe und feste Sohlen können nicht beprobt werden.

Aufwand: Die Gerätekosten sind relativ gering. Ein Betrieb ist nur bis zu Strömungsgeschwindigkeiten  $< 2,0 \text{ m/s}$  möglich.

Auswertung: Siebung und Wägung, mineralische Untersuchungen.

*b) Greifer System Ekman – Birge*



*Fig. 15 Greifer System Ekman – Birge*

Kurzbeschreibung:

Der mit der Hand zu bedienende Greifer System Ekman – Birge mit den Abmessungen 15x15x21 cm besitzt zwei untere Klappbacken, die mit einem Federmechanismus per Fallgewicht geschlossen werden. 2 obere Klappen sind mit Scharnieren versehen. Der Greifer wird mit geöffneten Klappbacken, die arretiert sind, an einem Seil per Hand auf die Gewässersohle abgesenkt. Die oberen Klappen öffnen sich beim Ablassen und ermöglichen eine Durchströmung. Nach dem Erreichen der Sohlenoberfläche wird ein Fallgewicht betätigt und die Greiferbacken werden durch Federn geschlossen.

Genauigkeit:

Bei weichen Bodenverhältnissen im Ton-/Schluffbereich können ziemlich ungestörte Proben gewonnen werden. Bei festen Proben und grobkörnigen Böden ist das Gerät nicht geeignet.

*c) Greifer System Shipek*

Kurzbeschreibung:

Der Einschalengreifer “Shipek” wiegt rund 60 kg und besteht aus dem Gehäuse mit beweglicher Schale, einer Spannvorrichtung und einem aufliegenden Gewichtsauslöser. Die Höhe des Gerätes beträgt 45 cm, die Länge 50 cm, die Gesamtbreite einschliesslich der Achse mit den Spannfedern 65 cm.

Die mittels Spannhebel geöffnete Schale wird beim Aufsetzen auf der Gewässersohle durch Spannfedern nach Auslösung durch das Gewicht um 180° gedreht und füllt sich bei diesem Vorgang mit dem Sohlenmaterial.



Fig. 16 Greifer System Shipek

- Genauigkeit: Die Schnitttiefe ist gering. Es können sich Steine zwischen Schale und Gehäuse klemmen, so dass der Greifer nicht ganz schliesst. Feinkörner werden in diesem Falle ausgespült, die Probenahme muss wiederholt werden. Wegen seines Gewichtes von 60 kg ist es auch bei starker Strömung gut verwendbar.
- Aufwand: Der Einsatz ist nur mittels Winde möglich. Die maximale Entnahmetiefe in stillen Gewässern beträgt ca. 100 m.
- Auswertung: Siebung und Wägung, mineralogische Untersuchungen.

#### d) Einschalen-Schürfgreifer

##### Kurzbeschreibung:

Der ca. 300 kg schwere Greifer ist als Eigenkonstruktion der Bundesanstalt für Wasserbau und Gewässerkunde nicht im Handel erhältlich. An einem Hebelarm ist innerhalb eines Traggestells eine Schale angeordnet, mit einem Radius von 35 mm und einer Breite von 30 cm.

Zusatzgewichte, die am Traggestell angebracht sind, sowie ein Strömungsleitblech sorgen für eine stabile Lage in Strömungsrichtung. Die Verriegelung des Hebels wird durch die Entlastung des Trageiles nach dem Aufsetzen ausgelöst. Vor dem Aufziehen drückt der Hebel die Greiferschale durch die Sohle bis zu einer Abschlussplatte. Es wird eine gestörte Oberflächenprobe gewonnen.

- Genauigkeit: Durch eine Abschlussplatte wird das Ausspülen feinerer Fraktionen verhindert. Bei grossen Strömungsgeschwindigkeiten oder festen Sohlen kann es zu Fehlmessungen kommen, da der Hebelarm entweder vorzeitig oder nicht ausgelöst wird.
- Aufwand: Der Einsatz ist nur mittels schwerer Winde möglich
- Auswertung: Siebung und Wägung, mineralogische Untersuchungen.



Fig. 17 Einschalen-Schürfgreifer

e) Mehrschalige Greifer

Kurzbeschreibung:

Mehrschalige und Polypgreifer sind aus der Baggertechnik bekannt und werden von Pontons aus eingesetzt.

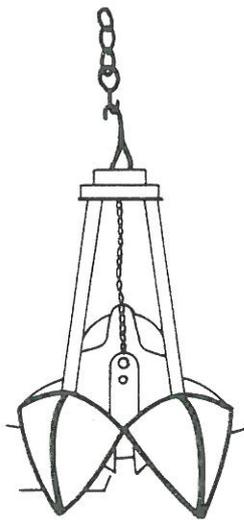


Fig. 18 Mehrschaliger Greifer

Genauigkeit: Neben Sand- und Kiesfraktionen sind auch Steinanteile grösserer Abmessungen erfassbar. Durch Verkleben von Steinen können Feinanteile ausgewaschen werden.

Aufwand: Sehr hoch, personal- und geräteintensiv.

Auswertung: Der Probenumfang ist sehr gross und muss zur Korngrössenanalyse repräsentativ geteilt werden.

*f) Schürfkübel*

Kurzbeschreibung:

Ein stabiler Stahlkübel mit einem Henkel wird vom Schiff aus an die Sohle abgelassen. Der liegende Kübel wird eine kurze Strecke über die Sohle gezogen und füllt sich mit Sohlenmaterial.



*Fig. 19 Schürfkübel*

Genauigkeit: Der Schürfkübel ist für jede Korngrösse geeignet. Verluste von Probenanteilen treten nicht auf.

Aufwand: Schiffseinsatz ist erforderlich.

Auswertung: Siebung und Wägung, mineralogische Untersuchungen. Bei grossem Probenvolumen ist eine repräsentative Teilung erforderlich.

### 3.2.1.2 Entnahme von Tiefenprofilproben

#### a) Saugbohrer System Eijkelkamp

Kurzbeschreibung:

Der Saugbohrer der Firma Eijkelkamp besteht aus einem Rohr aus rostfreiem Stahl oder Kunststoff und einem inneren Kolben. Das Rohr wird mittels Verlängerungsstangen gehalten, der Kolben wird mit einem Seil angezogen.

Nach dem Aufsetzen des Rohres auf der Gewässersohle wird durch Anziehen des Kolbens ein Unterdruck erzeugt, wodurch der Saugbohrer bis zu einer Tiefe von 2,00 m in Schlick- und Sandböden eindringt.

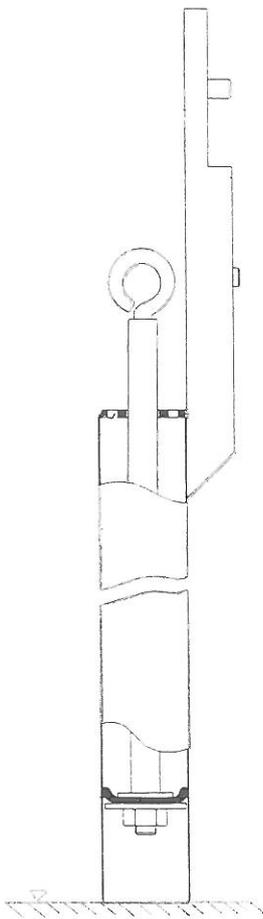


Fig. 20 Saugbohrer System Eijkelkamp

Genauigkeit:	In den meisten Fällen – bis zu einer Wassertiefe von 3-4 m – gelingt eine ungestörte Probenahme, weiches Sediment kann beim Anheben aus dem unteren Rohrbereich auslaufen.
Aufwand:	Bei Wassertiefen von 3-4 m gering, in grösseren Tiefen kann der Saugbohrer auch von Tauchern eingesetzt werden.
Auswertung:	Granulometrische und bodenmechanische Untersuchungen, Schadstoffanalytik.

### b) Beeker-Sampler

#### Kurzbeschreibung:

Der Beeker-Sampler besteht aus einem Kunststoff- oder Edelstahlrohr mit Durchmesser 60 mm mit einem unteren Schneidekopf und einem Sauger, der im Stechrohr für Unterdruck sorgt. Mit einem Gummibalg im Schneidekopf kann das Rohr unten abgeschlossen werden.

Der Beeker-Sampler wird mit Verlängerungsstangen in die Gewässersohle getrieben. Der Sauger wird unmittelbar über dem Boden gehalten. Die maximale Stechlänge beträgt ca. 1,50 m. In der gewünschten Entnahmetiefe wird der Gummibalg im Schneidekopf aufgeblasen, der Sampler angehoben und das Probenahmerohr abgekoppelt. Mit einem Auspresssystem kann die Probe aus dem Rohr geschoben werden.

- Genauigkeit: Schlickproben mit schwachem bis mittlerem Sandanteil können einwandfrei entnommen werden. Reine Sandprobennahmen sind nur bis zu einer Schnitttiefe von 0,5 bis 0,8 m möglich.
- Aufwand: Bei Wassertiefen von 3-4 m gering. Die Mechanik und Pneumatik sind empfindlich, es kann zur notwendigen Wiederholung der Probenahme kommen.
- Auswertung: Zur Korngrößen- und Schadstoffanalytik geeignet.

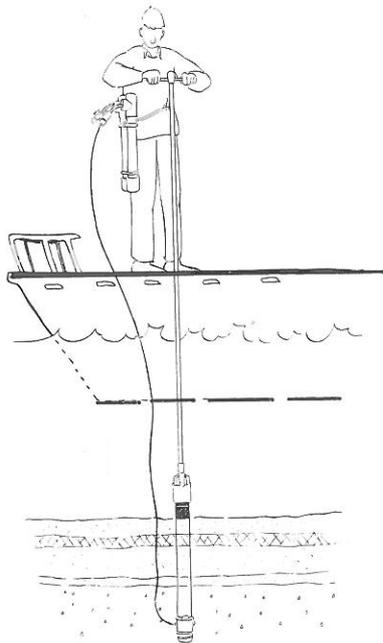


Fig. 21 Beeker-Sampler

### c) Fallrohr System Benthos

#### Kurzbeschreibung:

Das ca. 150 kg schwere Fallrohr mit aufgesetzten Bleigewichten wird mittels Seilwinde und Ausleger im freien Fall in die Gewässersohle abgesenkt. Der Rohrdurchmesser beträgt 60 mm. Ein Ventilball schliesst das Rohr oben beim Anheben ab. Probenlängen bis 2,00 m sind möglich.

Nach dem Anheben wird das transparente Innenrohr entnommen und an den Enden mit Kunststoffkappen verschlossen.

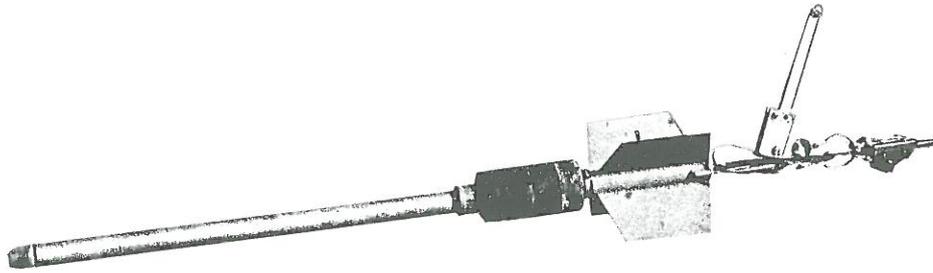


Fig. 22 Fallrohr System Benthos

Genauigkeit:	Die Proben werden durch das schnelle Eindringen des Fallrohres gestaucht und sind für bodenmechanische Untersuchungen nicht besonders gut geeignet.
Aufwand:	Schiffseinsatz mit hohem Davit erforderlich.
Auswertung:	Korngrößen- und Schadstoffanalytik.

d) Bohrkern-Entnahme im Taucherschacht

Kurzbeschreibung:

Der Taucherschacht wird auf die Gewässersohle aufgesetzt und das Wasser durch Drucklufteinlass verdrängt. Durch einen Einstiegschacht gelangt das Personal in die Arbeitsglocke. Mit einer Hydraulikpresse wird ein Hüllrohr  $\varnothing$  20 cm bis zur Tiefe von 2 m in die Gewässersohle verpresst.

Nach dem Einpressen wird das Rohr wieder gezogen, das Innenrohr entnommen und an den Enden mit Kunststoffkappen für den Transport verschlossen. Zur Entnahme der Probeschichten wird das Rohr im Labor aufgeschnitten.



Fig. 23 Taucherschacht

Genauigkeit:	Es wird eine präzise Beprobung der Gewässersohle erreicht
Aufwand:	Bedingt durch Spezialschiff und Personal sehr hoch.
Auswertung:	Durch genaue Kenntnis der Zusammensetzung des Gewässerbettes sind gute Erosionsprognosen möglich.



*Fig. 24 Bohrkern-Entnahme im Taucherschacht*

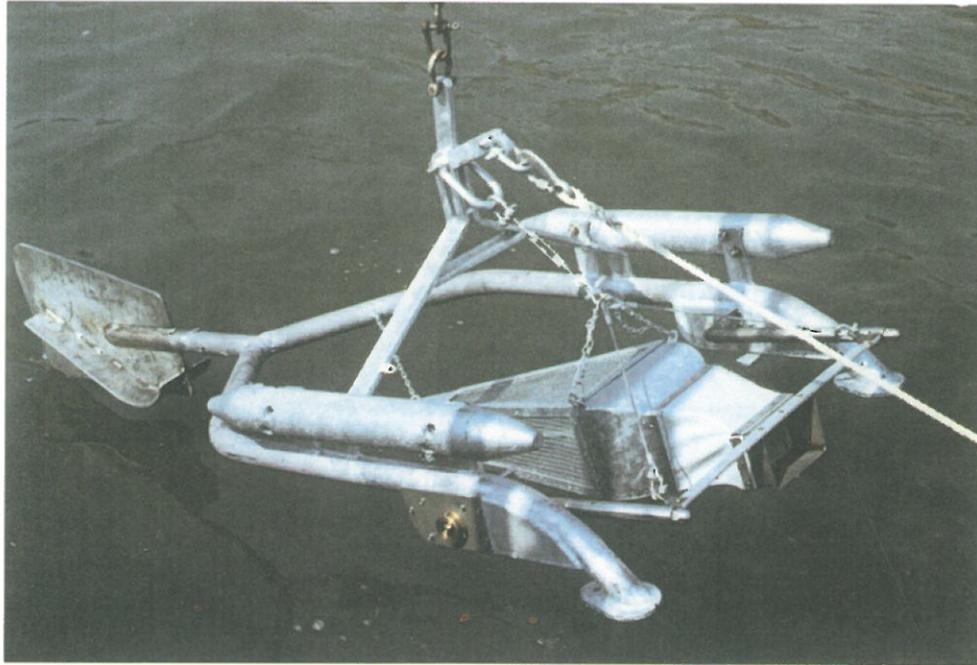


Fig. 25 Geschiebefänger

### 3.2.2 Geschiebemessungen

#### a) Geschiebefänger

Kurzbeschreibung:

Das nach dem niederländischen Geschiebefänger "Arnhem" weiterentwickelte Gerät besteht aus einem Fangkorb und dem Rahmen mit Zusatzgewichten und einer Leitwerksvorrichtung. Das Gesamtgewicht erreicht 170 kg. Der Fangkorb hat eine hydraulisch günstige Tropfenform mit grossen, gewebebespannten Flächen.

Der Geschiebefänger wird 3mal pro Messlotrechte je nach der Stärke des Geschiebetriebes 3 bis 5 Minuten auf die Gewässersohle aufgesetzt an 5 bis 7 Messlotrechten im Flussquerschnitt. Das eingeströmte Geschiebe wird jeweils entnommen und für das Labor abgepackt.

Genauigkeit:	Auch in grösseren Wassertiefen und bei hoher Fliessgeschwindigkeit hat sich der Geschiebefänger gut bewährt. Durch eine grosse Anzahl von Messungen wird bei Beachtung einiger Messbedingungen eine hohe Repräsentativität erzielt.
Aufwand:	Durch Schiffs- und Personaleinsatz hoch.
Auswertung:	Einfach durch Wägung und Siebung der Proben, Weiterverarbeitung der Daten mittels DV.

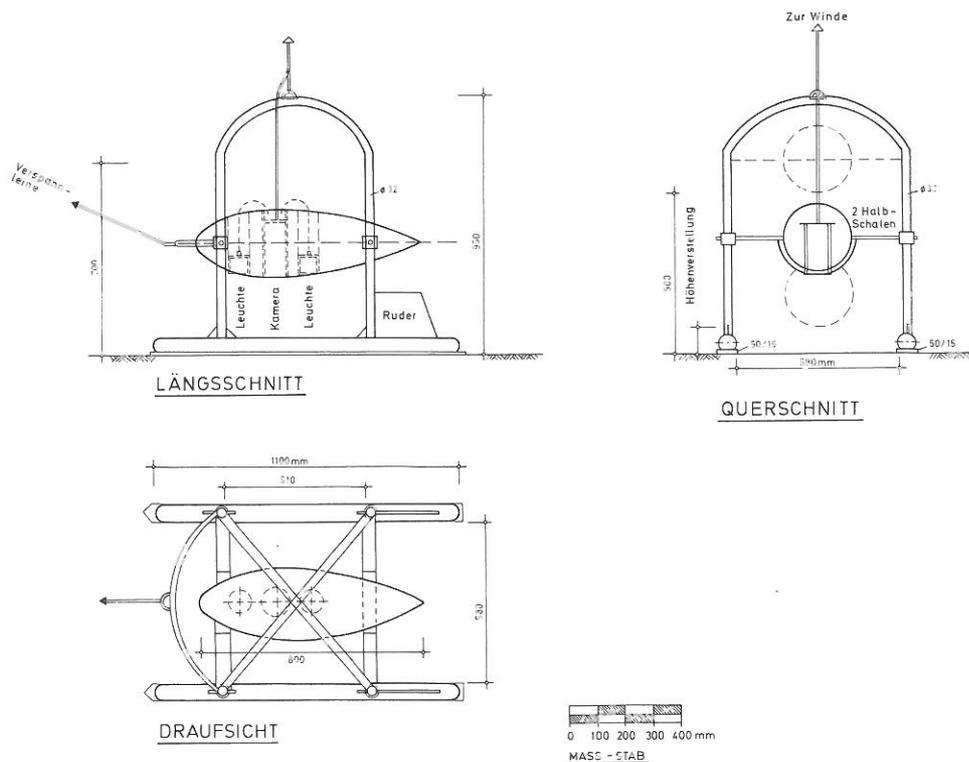


Fig. 26 Tragschlitten für Unterwasser-Fernsehen

b) Beobachtung des Geschiebetransportes mittels Unterwasser-Fernsehen

Kurzbeschreibung:

An einem Tragschlitten mit eingehängter, tropfenförmiger Schutzschale sind eine Kamera und 2 flankierende Leuchten höhenverstellbar angebracht. An Bord des Messschiffes wird am Kontrollmonitor die Gewässersohle beobachtet. Mittels Videorecorder können die Aufnahmen gespeichert werden.

Der Tragschlitten kann an der Gewässersohle in langsamer Geschwindigkeit geschleppt werden, so dass schnell grössere Flächen sondiert werden können.

- |              |   |
|--------------|---|
| Genauigkeit: | Zur Kartierung der unterschiedlichen Beschaffenheit von Gewässersohlen und z.B. zur schnellen Ermittlung der geschiebeführenden Breite sowie zur Kontrolle des Geschiebefängers können die Geräte gut eingesetzt werden. Bislang liegen keine genauen, quantifizierbaren Resultate vor. |
| Aufwand:     | Schiffseinsatz erforderlich, im Handel sind preiswerte Kameras mit Peripheriegeräten erhältlich.  |
| Auswertung:  | Mittels Zeitlupeneinstellung des Video-Rekorders kann die Transport-Geschwindigkeit von Einzelkörnern über eine kleine Distanz ermittelt werden.  |

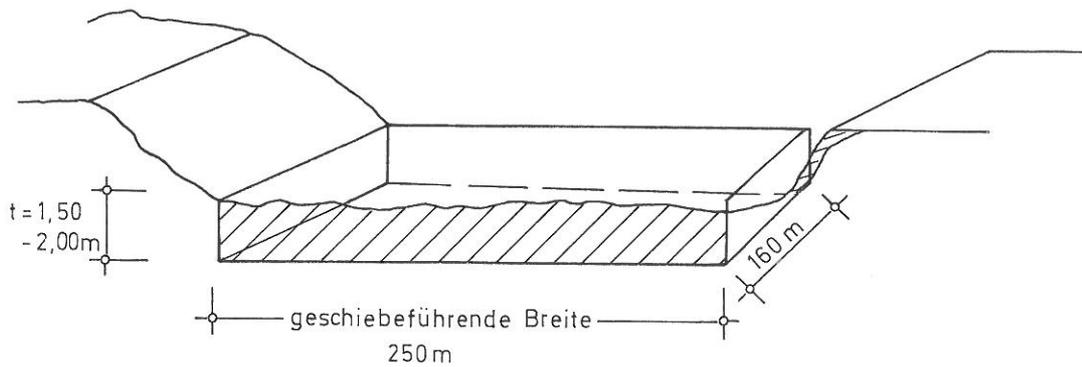


Fig. 27 Grossmassstäbliche Geschiebefalle

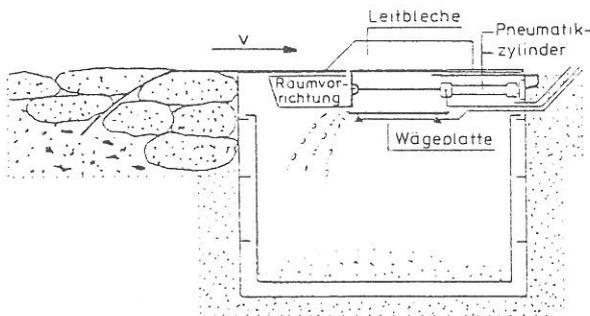
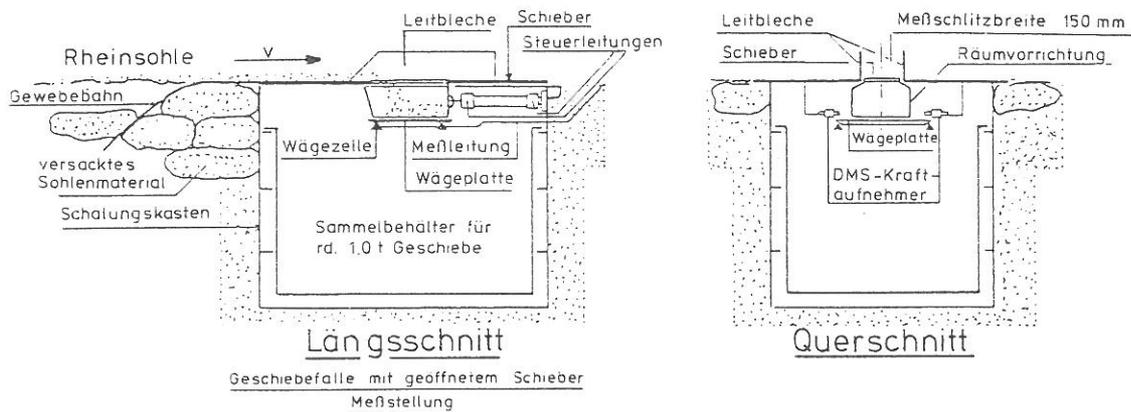
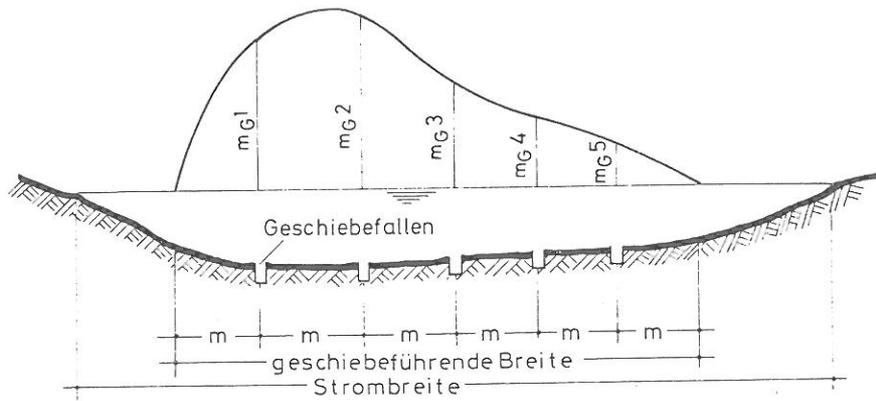
c) Grossmassstäbliche Geschiebefalle

Kurzbeschreibung:

Im Rhein oberhalb von Mainz ist eine grossmassstäbliche Geschiebefalle in Betrieb mit einer Breite von 250 m, einer Länge von 160 m und einer mittleren Tiefe von 1,75 m. Das Volumen von 70 000 m<sup>3</sup> entspricht der mittleren Jahresfracht des Geschiebes an dieser Stelle.

Der Füllzustand wird regelmässig mittels Peilung überprüft. Nach Bedarf wird die "Fallgrube" ausgebaggert. Man verhindert mit dieser Geschiebefalle den unerwünschten Weitertransport des Geschiebes in den unterhalb liegenden Bereich des Rheingaus.

Genauigkeit:	Sowohl durch die Peilung des Füllgrades der Geschiebefalle als auch durch die gebaggerte Menge wird der Geschiebetransport an dieser Stelle genau bekannt.
Aufwand:	In Bau und Unterhaltung sehr hoch.
Auswertung:	Einfach und genau durch Vermessung des Füllgrades mittels Peilung.



#### Technische Daten

Schalungskasten: Länge 1060 mm  
Breite 760 mm  
Höhe 800 mm

Volumen des Sammelbehälters rd. 400 Liter  
Gewichtsmessung über 4 Biegestäbe (DMS)  
Steuerung pneumatisch.

Die Steuer- und Meßleitungen werden durch eine Beschwerungskette (Ankerkette) auf der Sohle gehalten. Ein in Ufernähe verankerter Signalponton dient als Geräteträger.

Fig. 28 Wägbare Geschiefefalle

#### *d) Wägbare Geschiebefalle*

##### Kurzbeschreibung:

Bei Rhein-km 818,2 wurde mit 5 wägbaren Geschiebefallen, die sohlengleich im Gewässerbett eingebaut und gegen Ausspülung geschützt wurden eine Messstelle eingerichtet insbesondere für Fälle, z.B. Hochwasser, bei denen mit dem Geschiebefangkorb nicht gemessen werden kann.

Die Geschiebefallen sind mit einer verschliessbaren Einlauföffnung und einer Wägeeinrichtung versehen. Das Öffnen, Schliessen und Wägen wird über Steuerleitungen von einem verankerten Floss aus veranlasst.

Das während der Messzeit durch die geöffnete Einlauföffnung einfallende Geschiebe wird kontinuierlich gewogen. Nach Durchführung einer längeren Messreihe werden die Auffangbehälter mit einem Volumen von 0,4 m<sup>3</sup> mit Hilfe eines Taucherschachtes entleert.

Genauigkeit: Der Verlauf des Geschiebeeintrages in die Fallen ist gut erkennbar.  
Aufwand: In Bau und Unterhaltung sehr hoch.  
Auswertung: Der Geschiebetrieb wird gravimetrisch erfasst und über DV berechnet.  
Die Messungen haben gezeigt, dass der Einfluss der Schifffahrt auf den Geschiebetrieb quantifiziert werden kann.

#### *e) Einsatz von markiertem Geschiebe*

##### Kurzbeschreibung:

In einer Erosionsstrecke unterhalb der Staustufe Gamsheim wurde im Rahmen eines Naturversuches mit fluoreszierenden Farben markiertes Geschiebematerial (Luminophoren) zugegeben. Gezielte Probenentnahmen im Laufe eines Jahres mittels eines Schürfgreifens sowie Beobachtungen mit einer Unterwasser-Fernschanlage, die mit einer UV-Beleuchtung ausgerüstet war, brachten Kenntnisse über die Geschiebebewegung. In früheren Jahren wurden auch Messungen mit radioaktiv markiertem Geschiebe durchgeführt.

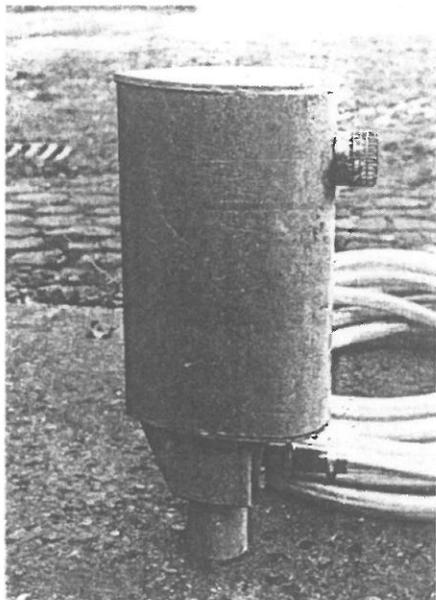
Genauigkeit: Ist abhängig von dem Einsatzmodus der Körner und deren Anzahl.  
Aufwand: Das Markieren, Einsetzen und Wiederauffinden des Materials ist sehr aufwendig.  
Auswertung/  
Ergebnisse: Im Beobachtungszeitraum schwankten die Abflüsse zwischen 750 und 2630 m<sup>3</sup>/s. Das markierte Kieskorn wurde relativ gleichförmig über eine Strecke von rd. 8 km bewegt, was einer mittleren Geschwindigkeit von 21 m/Tag entspricht.  
Die Sandfraktion erreichte bei Abflüssen zwischen 1080 und 2420 m<sup>3</sup>/s eine mittlere Geschwindigkeit von 1960 m/Tag oder 0,02 m/s.

#### *f) Akustische Geschiebemessung*

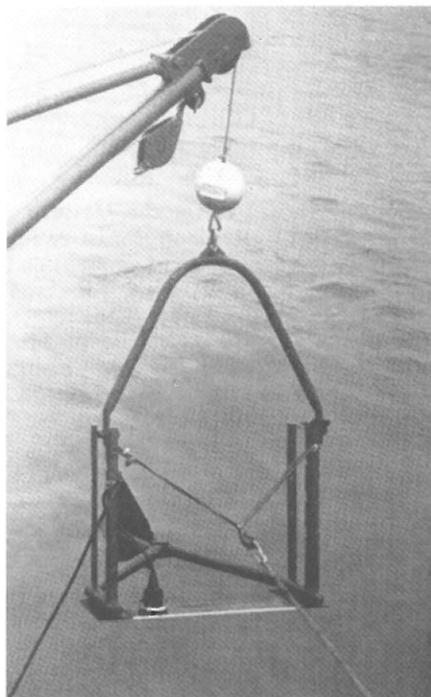
##### Kurzbeschreibung:

Der Geschiebetrieb kann sowohl mit mehreren, über den Gewässerquerschnitt verteilten und längerfristig fest eingebauten Mikrofonen als auch mit Einzelgeräten mobil vom Schiff aus gemessen werden.

Die an der Gewässersohle liegenden Mikrophone liefern beim Steinschlag akustische Signale in Impulsen/Minute.



Stationär



Mobil

Fig. 29 Akustische Messgeräte

- Genauigkeit: Die registrierten Anschläge der Geschiebekörner führen bei geringem Geschiebetrieb zu brauchbaren Ergebnissen.
- Aufwand: Für mobile Geräte klein, für feste Installationen hoch, Taucherschacht ist erforderlich für Ein- und Ausbau.
- Auswertung: Beginn und Ende des Geschiebetransportes lassen sich gut ermitteln, bei starkem Transport gibt es Probleme.

#### g) Beobachtung der Sohlenerosion durch Peilung

##### Kurzbeschreibung:

Durch den Einsatz von Peilschiffen, die möglichst mit vielen, an Auslegern befestigten Echoloten ausgerüstet sind, lassen sich Höhenveränderungen der Gewässersohle gut beobachten und berechnen.

Das Peilschiff fährt in bestimmten Zeitabständen über die Gewässerstrecke und zeichnet die Sohlenhöhen mit Plottern als Flächenpeilplan auf.

Mittels von an Land aufgestellten Sendestationen erfolgt die Ortsbestimmung des Peilschiffes. Bei turnusmäßigen Hauptpeilungen werden Querprofilaufnahmen im Abstand von 100 m durchgeführt, im Falle von Sonderuntersuchungen richten sich die Peilabstände nach der gestellten Aufgabe.

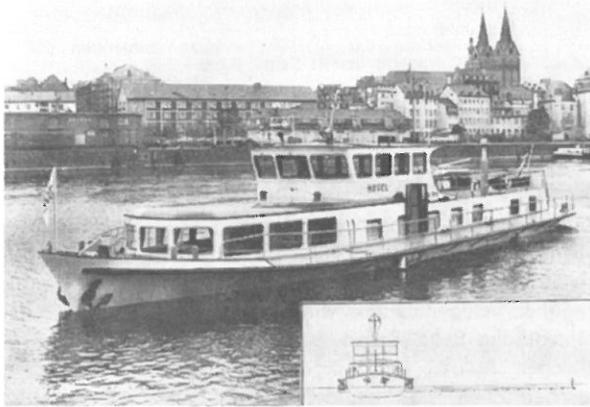


Fig. 30 Messschiff mit Echoloten am Ausleger

Genauigkeit:	Durch den Einsatz der Echolote erhält man bei festen Sohlen gute Ergebnisse über die Sohlenveränderung. Bei schlammigen, lockeren Gewässersohlen ist die Peilgenauigkeit bisweilen nicht zufriedenstellend.
Aufwand:	Ist abhängig von der gewünschten Messgenauigkeit und der Häufigkeit der Peilungen.
Auswertung:	Die Änderung der Sohlenhöhen über die Zeit wird mit Hilfe von DV-Geräten ermittelt (z.B. Diagramm-Abtaster)

### 3.2.3 Schwebstoffmessungen

#### 3.2.3.1 Ermittlung des Schwebstoffgehalts

Für die Ermittlung des Schwebstoffgehaltes werden Einpunkt- und Vielpunktmessungen, Integrationsmessungen, Trübungsmessungen und Ultraschallmessungen durchgeführt.

##### A. EINPUNKTMESSUNGEN

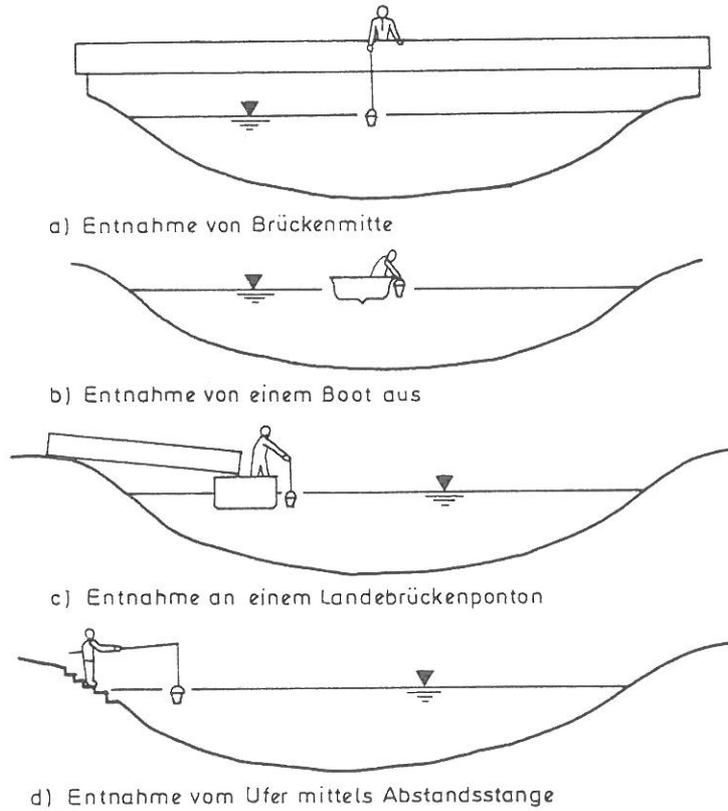
###### a) Schöpfproben mittels Eimer

Kurzbeschreibung:

An möglichst repräsentativer Stelle werden Schöpfproben mittels Eimer entnommen. Die Probenmenge richtet sich nach dem Schwebstoffgehalt und beträgt normalerweise 5 Liter.

Die Probe wird entweder direkt an der Entnahmestelle oder später gefiltert.

Fig. 31 Entnahmestellen von Schöpfproben



- Genauigkeit: Auch bei Verwendung von einfachen Filtern ist die Genauigkeit dieser Methode unter Beachtung bestimmter Regeln gut. Bei langsam fließenden Gewässern mit ungenügender vertikaler Durchmischung werden durch Probenahme an der Gewässeroberfläche zu niedrige Werte erzielt.
- Aufwand: Gering
- Auswertung: Die Wägung der Filter ist einfach, Weiterverarbeitung der Daten mittels Datenverarbeitung.

#### b) Schöpfproben mittels Ruttnerflasche

##### Kurzbeschreibung:

Die Ruttnerflasche besteht aus einem Plexiglaszylinder von 1,0 oder 2,0 Liter Inhalt und wird mittels Seil in geöffnetem Zustand vertikal in die gewünschte Tiefe abgelassen.

An dem Entnahmepunkt wird der Verschlussmechanismus entweder durch ein Fallgewicht oder durch eine Rückbewegung ausgelöst.

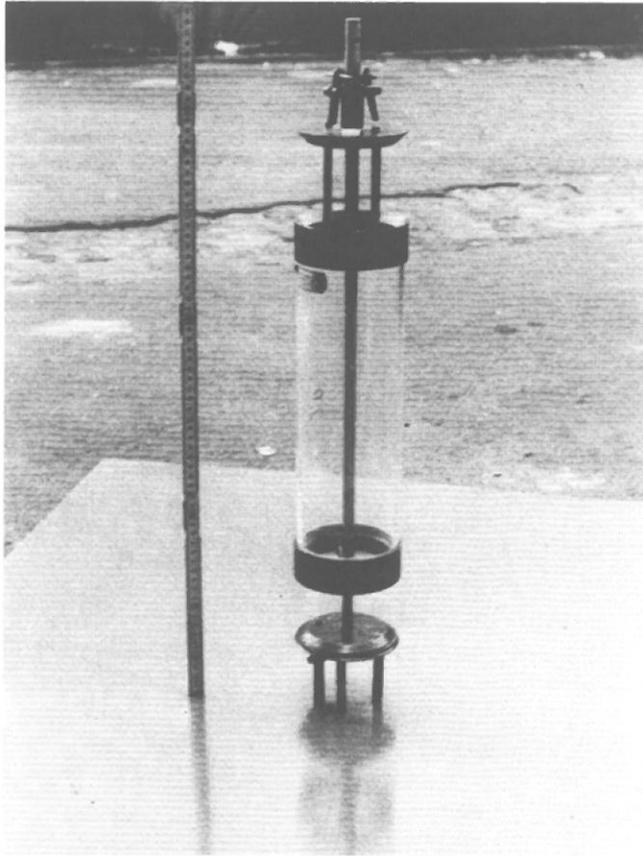


Fig. 32 Ruttnerflasche

Genauigkeit:	Genügend, repräsentative Entnahmestellen vorausgesetzt.
Aufwand:	Es können auch Vielpunktmessungen durchgeführt werden. Die Ruttnerflasche ist in stehenden Gewässern bis in Tiefen von ca. 10-15 m einsetzbar, in schnell strömenden Flüssen bis 3 m Tiefe.
Auswertung:	Wägung im Labor.

## B. VIELPUNKTMESSUNGEN

Methoden der Vielpunktmessung sind:

### a) Pumpverfahren

Kurzbeschreibung:

Am Mittelstück des hydrometrischen Flügels ist ein Saugrohr in Höhe der Schaufelachse angebracht. Mit einer regelbaren Pumpe wird die Wasserprobe aus verschiedenen Tiefen und Messpunkten im Flussquerschnitt an Bord befördert und gefiltert.

Genauigkeit:	Gut. Durch Einschaltung eines 63 $\mu$ -Siebs wird die Trennung der Schwebstofffracht in Sand- und Schlufffraktionen ermöglicht. Es können grosse Probenmengen für Sonderuntersuchungen genommen werden.
Aufwand:	Schiffseinsatz ist erforderlich
Auswertung:	Analyse der Proben im Labor, Bearbeitung der Ergebnisse mittels Datenverarbeitung.

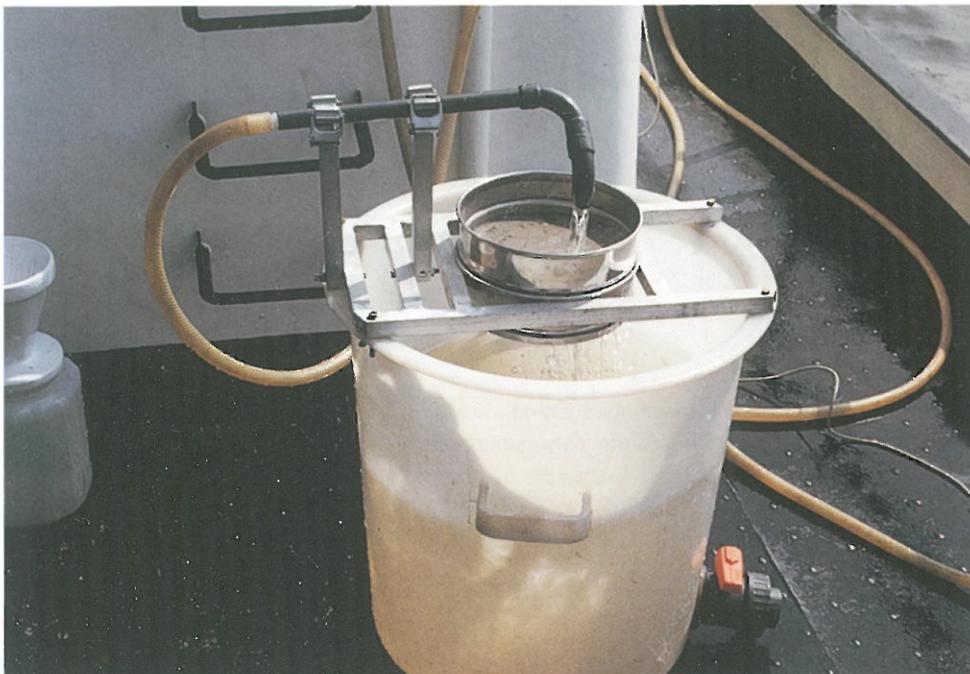
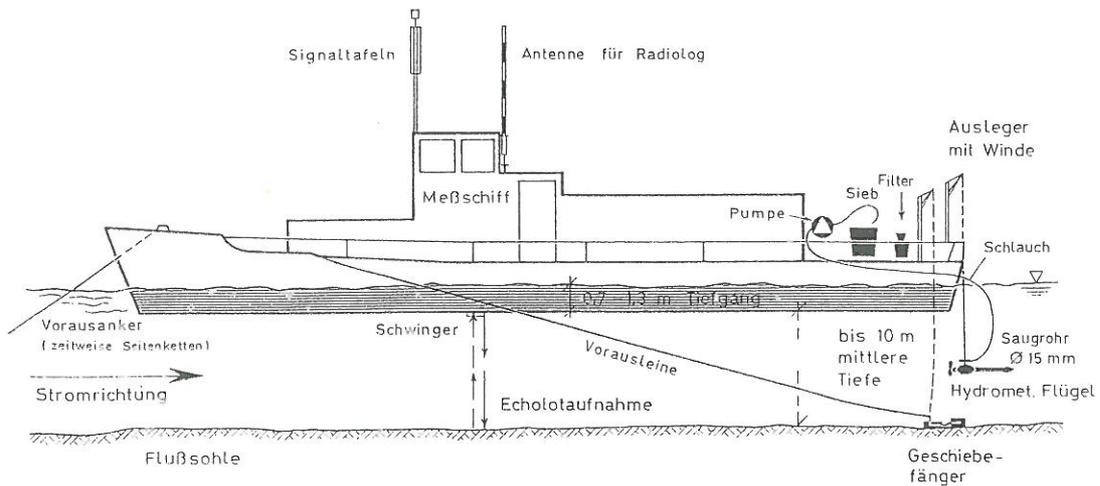


Fig. 33 Geräteanordnung auf dem Messschiff

b) Horizontal-Wasserschöpfer HYDRO-BIOS / BfG

Kurzbeschreibung:

Ein serienmässiger Vertikalschöpfer wurde umkonstruiert auf Horizontallage sowie mit Magnetverschluss, Zusatzgewicht und Leitwerk versehen.

Der Inhalt beträgt 3,5 oder 5,0 Liter.

Das Gerät wird in geöffnetem Zustand in die gewünschte Tiefe abgelassen und durch Betätigung des Magnetschalters geschlossen.

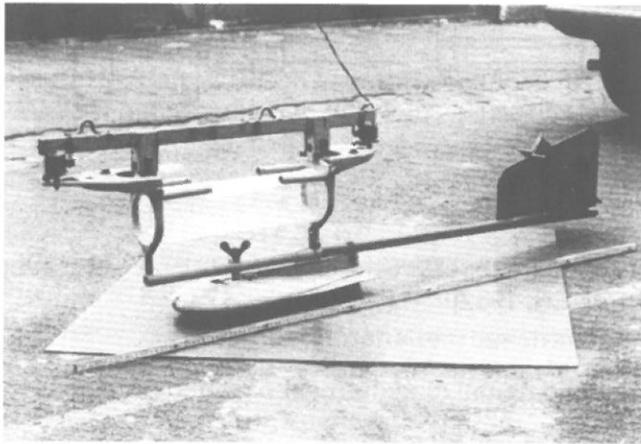


Fig. 34 Horizontal-Wasserschöpfer  
HYDRO-BIOS / BfG

- Genauigkeit: Durch die strömungsgünstige Form und das Gewicht ist eine präzise Entnahme der Probe in der gewünschten Tiefe möglich.
- Aufwand: Schiffseinsatz ist erforderlich.
- Auswertung: Filterung und Wägung, Bearbeitung der Ergebnisse mittels Datenverarbeitung.

*c) Wasserschöpfer Schweder-Wohlenberg*

Kurzbeschreibung:

Ein waagrecht liegender Stahlzylinder mit einem Inhalt von 1,0 Liter ist mit Verschlussklappen versehen. Durch Gewichte und Leitbleche kann das Gerät gut stabilisiert werden.

In der gewünschten Tiefe wird der Verschlussmechanismus durch ein Fallgewicht ausgelöst.

- Genauigkeit: Durch Leitbleche ist die Entnahme in definiertem Sohlabstand möglich.
- Aufwand: Schiffseinsatz ist erforderlich
- Auswertung: Filterung und Wägung, Bearbeitung der Ergebnisse mittels Datenverarbeitung.

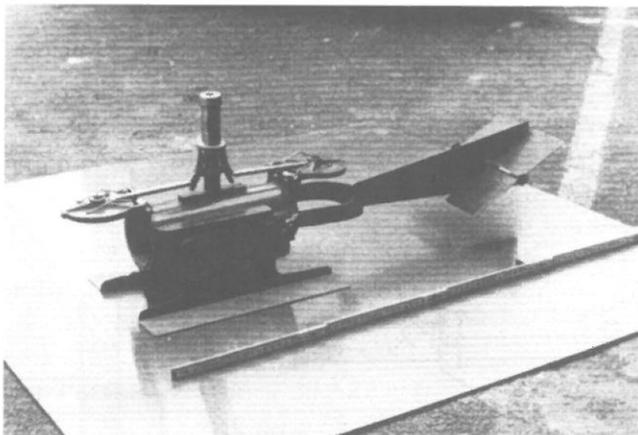


Fig. 35 Wasserschöpfer System  
Schweder-Wohlenberg

### C. INTEGRATIONSMESSUNG

Der Schwebstoffgehalt kann auch durch Integrationsmessungen bestimmt werden.

Kurzbeschreibung:

Anstatt in den einzelnen Messlotrechten an mehreren Punkten Wasserproben zu entnehmen, kann dort auch eine Integrationsmessung vorgenommen werden. Diese ergibt dann den mittleren Schwebstoffgehalt zwischen der Oberfläche und dem Sohlenbereich, vorausgesetzt, dass die Füllung des Messgerätes tatsächlich weitgehend isokinetisch (d.h. Einström- gleich Anströmgeschwindigkeit) erfolgt. Das Verfahren bietet den Vorteil der schnelleren Durchführung, was vor allem bei sich rasch ändernden Abflüssen, z.B. bei stark anschwellendem oder stark fallendem Hochwasser, von erheblicher Bedeutung sein kann. Die Genauigkeit von Integrationsmessungen ist ggf. durch Punktmessungen zu überprüfen.

Es sind verschiedene Geräte auf dem Markt, die im deutschen Rheingebiet nur selten oder ausschliesslich zur Erprobung eingesetzt wurden, aber trotzdem nicht unerwähnt bleiben sollen:

- z.B. – Delfter Flasche
- Entnahmegesetz nach Ott
- Cux-Sampler
- Emden Flasche

Genauigkeit: Diese Geräte halten teilweise nicht alle Feststoffpartikel zurück.  
Aufwand: Der Einsatz der Geräte erfolgt entweder vom Schiff aus oder mittels Brückenausleger oder mit einer Seilkrananlage.  
Auswertung: Analyse der Proben im Labor, Ermittlung der Ergebnisse mittels Datenverarbeitung.

D. TRÜBUNGSMESSUNGEN

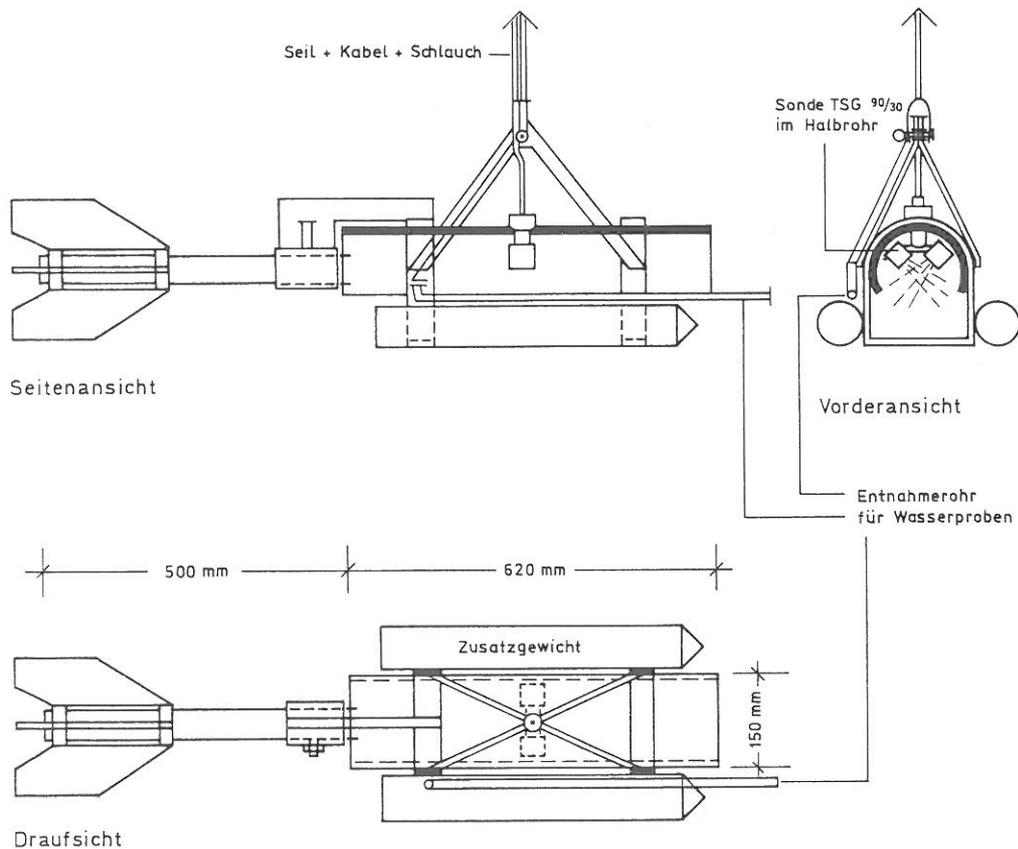


Fig. 36 Trübungsmessgerät MEX 2, BfG Traggestell

## Trübungsmessgeräte

### Kurzbeschreibung:

Trübungsmessgeräte werden zur kontinuierlichen Überwachung des Schwebstoffgehaltes, zur schnellen Messung der Schwebstoffverteilung im Längs- und Querschnitt sowie zur Kontrolle der Auswirkung von Baggermassnahmen eingesetzt.

Die Schwebstoffpartikel in Sondennähe werden als Extinktions-, Absorptions- oder Reflexionswerte gemessen. Als Standardparameter werden in der Regel Trübungseinheiten bezogen auf Formazin [TE/F] angegeben.

Für mobilen Einsatz werden die Trübungsmesssonden an speziellen Traggestellen montiert, es werden aber auch stationäre Messstellen, z.B. von Land oder einer schwimmenden Plattform aus, betrieben.

- Genauigkeit: Neuere Geräte sind unempfindlich gegen Fremdlichteinfluss. Die Trübungswerte sind abhängig von der Korngrösse, Kornform und Mineralogie.
- Aufwand: Geräteeinsatz klein. Es sind Eichmessungen mittels Schöpfproben erforderlich. Die Reinigung der Messzellen kann automatisch mit Scheibenwischern erfolgen.
- Auswertung: Aufzeichnung der Trübungswerte mittels Linienschreiber oder Datalogger.



Fig. 37 Trübungsmessgerät mit Halterung am Ott-Mittelstück

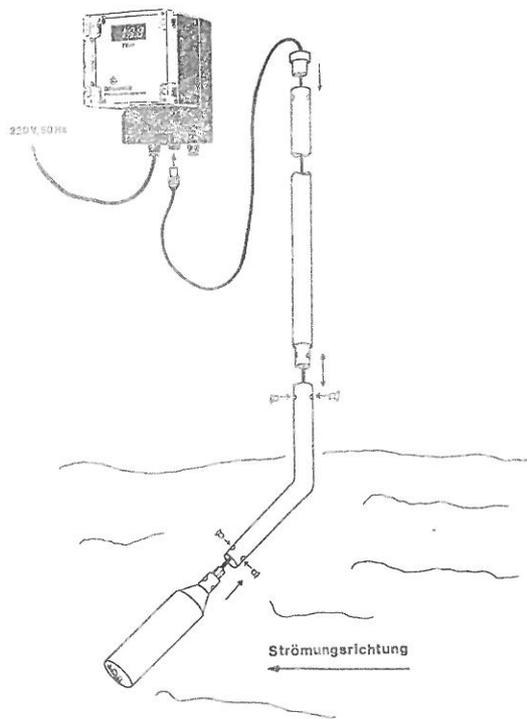


Fig. 38 Trübungsmessgerät als Landstation

## E. ULTRASCHALLMESSUNGEN

### ADCP-Gerät

#### Kurzbeschreibung:

Ultraschallwellen werden reflektiert, die Absorption bzw. Ablenkung durch Partikel wird gemessen und liefert ein Mass für den Schwebstoffgehalt. Eichmessungen sind notwendig.

**Genauigkeit:** Das ADCP-Gerät ist in der Bundesanstalt für Gewässerkunde noch im Versuchsstadium, es sind noch keine Aussagen möglich.

**Aufwand:** Gerätekosten sind hoch. Schiffseinsatz oder teure stationäre Aufstellung sind erforderlich.

**Auswertung:** Für den Routineeinsatz noch nicht geeignet, Weiterentwicklung ist erforderlich und bleibt abzuwarten.

### 3.2.3.2 Gewinnung von grösseren Schwebstoffproben für weitere Analysen

Kurzbeschreibung:

Zur Durchführung verschiedener Analysen wie z.B. Bestimmung der Korngrössen, des mineralischen oder organischen Anteils sowie des Schwermetallgehaltes werden Proben von einigen Gramm Gewicht benötigt. Die Gewinnung von solchem Material gelingt z.B. durch Sammeln grösserer Wasserproben mit anschliessender Sedimentation und Abheben der klaren Flüssigkeit, durch Zentrifugen oder durch im Fluss installierte Schwebstoffsammler mit eingebautem Sedimentationszylinder und Probenflasche.

In der BfG wird der Schwebstoffsammler "Bisam", an einer Tragboje in der gewünschten Tiefe abgehängt, zur Gewinnung von Schwebstoffproben eingesetzt. Im Abstand von höchstens 4 Wochen wird die Probenflasche entnommen. Man erhält so eine Mischprobe für die Schadstoffanalytik.

Genauigkeit: Der Absetzversuch und der Einsatz von Zentrifugen lassen Aussagen über den Schwebstoffgehalt zu. Der Schwebstoffsammler – eine Neuentwicklung der BfG – dient vorerst nur der qualitativen Gewinnung von Schwebstoffmaterial.

Aufwand: Die Gerätekosten der Zentrifuge sind hoch. Die Gewinnung der Absetzproben ist einfach und preiswert. Für den Einsatz des Schwebstoffsammlers "Bisam" ist ein Schiff erforderlich.

Auswertung: Granulometrische sowie Schadstoff-Untersuchungen.

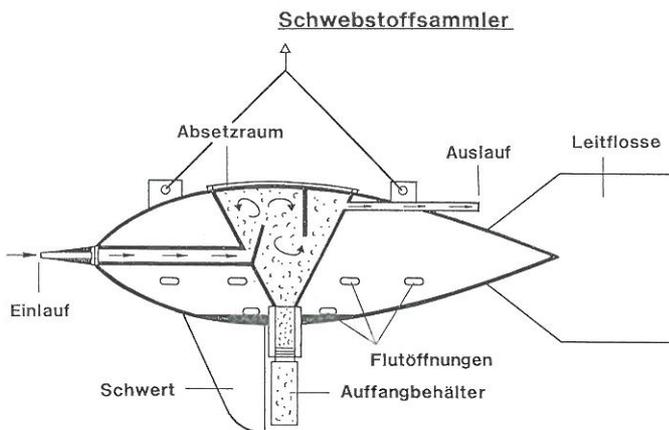
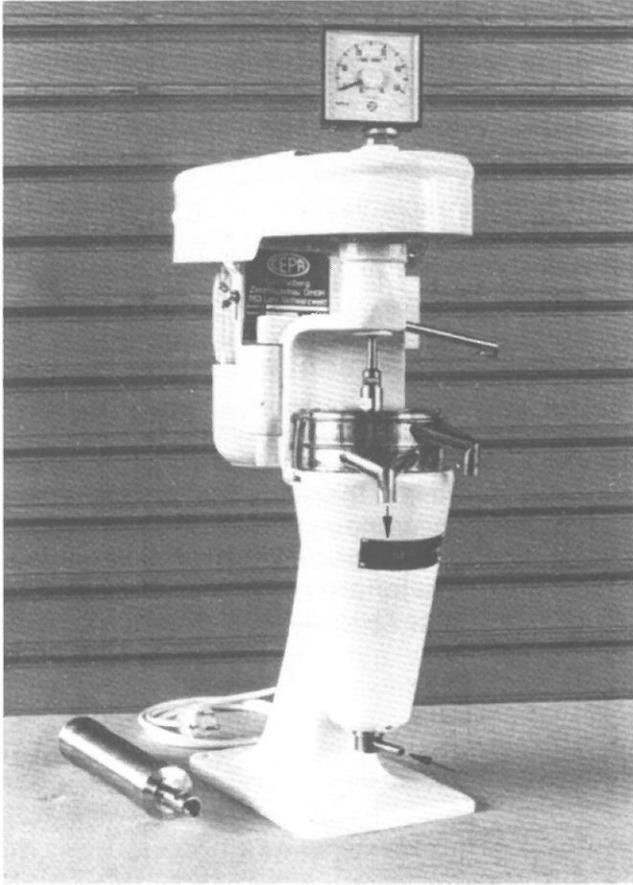


Fig. 39 Schwebstoffsammler "Bisam", BfG



*Fig. 40 Zentrifuge*

### 3.3 ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN IN DEN NIEDERLANDEN

#### 3.3.1 Messgeräte für den Feststofftransport

##### 3.3.1.1 Geschiebeführung

###### A. BEOBACHTUNG MIT GESCHIEBEFÄNGERN

Das meist benutzte System für die Messung des Geschiebetransportes ist die Methode mit Hilfe des sogenannten "Trap type samplers". Bei dieser Methode handelt es sich um die stichprobenweise Sammlung von Bodenmaterial aus dem Flussbett. In den niederländischen Rheinzeigen werden dazu folgende Geräte benutzt: das Sedimenttransportmessgerät "Arnhem", das Sedimenttransportgerät "Dordrecht", das Helley Smith Transportgerät und in Zukunft möglicherweise der sog. Delft Nile Sampler (Delft Hydraulics).

In den niederländischen Rheinzeigen kommen Dünen als Bettform häufig vor. Dies erschwert eine genaue Sandtransportmessung erheblich. Einerseits ist es sehr schwierig, das Gerät auf die Dünen zu setzen, ohne dass es Sediment "schaufelt". Andererseits ist Sedimenttransport, bei Dünen als Bettform, eine stark stochastische Grösse. Man braucht denn auch sehr viele Messungen, um eine repräsentative Sedimenttransportmessung durchzuführen. Bis heute ist es noch nicht gelungen, Sedimenttransportmessungen mit genügend hoher Genauigkeit durchzuführen, damit sie mit Erfolg in morphologischen Analysen und/oder Vorhersagen benutzt werden können. Dies ist auch der Grund dafür, dass der systematischen Sedimenttransportmessung in den Niederlanden noch verhältnismässig wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird.

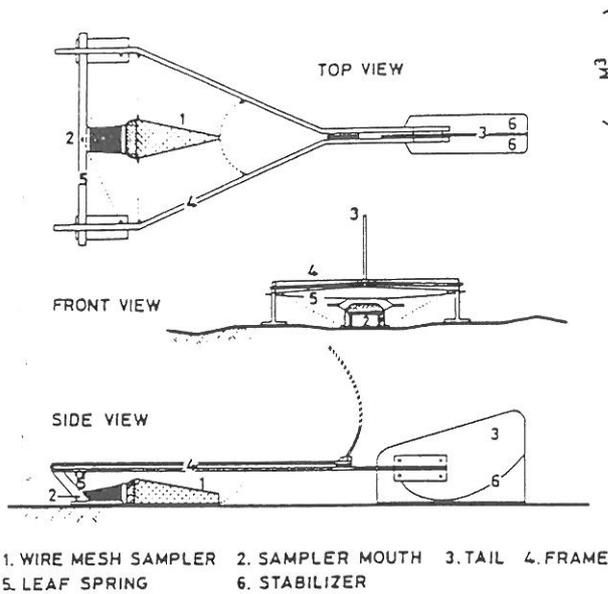
###### a) Sedimenttransportmesser "Arnhem" (BTMA)

Kurzbeschreibung:

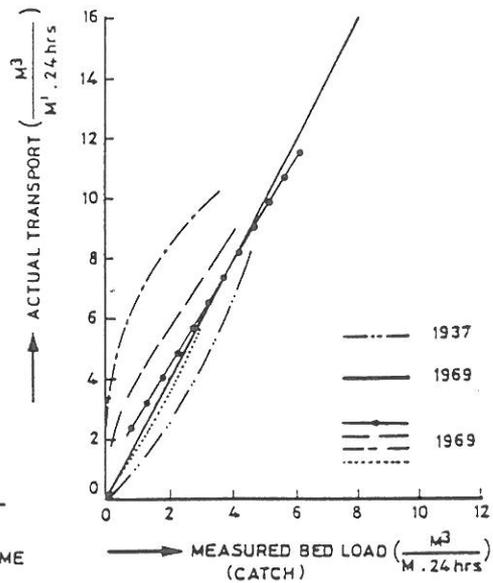
Mit diesem Instrument werden Sedimentteilchen mit Hilfe eines Probenahmekorbes gesammelt. Der Probenahmekörper ist stromlinienförmig und derart dimensioniert, dass die in die Öffnung eingeleitete Wassermenge derjenigen Menge entspricht, die durch einen entsprechenden Querschnitt ohne Instrument geleitet würde. Das Probenahmegerät kann Grobmaterial von über 0,3 mm (Maschenweite), und feiner als 50 µm (Öffnungshöhe) sammeln. Bei der Absenkung kommen erst die Schlitzen auf den Boden und danach die Einströmungsöffnung.

Verfahren:

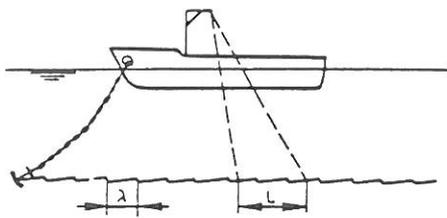
1. Vor dem Beginn einer Reihe von Messungen ist die longitudinale Bettform am Probenahmeort festzustellen. Wenn die Bettformlänge (Dünen) verglichen mit der Schiffslänge gross ist, muss der Probenahmeort in Längsrichtung regelmässig verändert werden, um die Zufallsprobenahme zu gewährleisten.
2. Probenahmegerät auf das Flussbett absenken
3. Vorgegebene Probenahmezeit einhalten. Der Probenahmekorb sollte nicht mehr als 40% gefüllt sein.
4. Anheben des Sediment-Probenahmegerätes
5. Spülung des Sedimentfanges vom Probenahmekorb in ein Messglas
6. Ablesung der Sedimentfangmenge
7. Analyse der Proben in einem Labor (wenn erforderlich)



A. BED LOAD SAMPLER



C. CALIBRATION CURVES



B. RANDOM SAMPLING

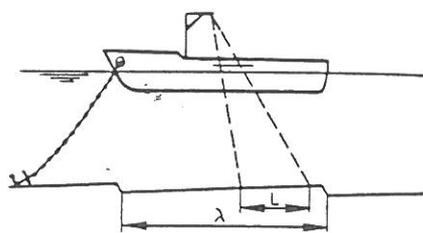


Fig. 41 Sedimenttransportmesser "Arnhem" (Delft Hydraulics 1986, BTMA)

Genauigkeit: Die Genauigkeit des gemessenen Sedimenttransports hängt sehr von der Genauigkeit des Kalibrierungsfaktors ab, ferner von der Anzahl der durchgeführten Messungen und vom Probenahmeverfahren. Ausgegangen wird von einer idealen Probenahme, bei der mindestens 20 Proben an jedem Standort entnommen werden müssen, um eine Sedimenttransportmenge mit einer Standardabweichung von ungefähr 20% zu bekommen. In der Praxis ist der Probenfehler wesentlich höher (100%). Dies ist hauptsächlich dem Probenahmeverfahren zuzuschreiben.

Vorteile/Nachteile: Einfaches und zuverlässiges Gerät; sehr zeitaufwendige Verfahrensweise; unzuverlässiger Kalibrierungsfaktor.

Aufwand: Messung und Ausarbeitung sehr arbeitsintensiv

Erfahrungsdauer: 15 Jahre.

b) Helley-Smith Sedimenttransport Probenahmegerät



Fig. 42 Sedimenttransport-Probenahmegerät

Kurzbeschreibung:

Dieses Probenahmegerät wurde vor kurzem in den Niederlanden eingeführt. Das Verfahren entspricht grundsätzlich der des BTMA-Typs. Durch seine Konstruktion kann dieses Probenahmegerät für höhere Wassergeschwindigkeiten und beim richtigen HS-Typ (es gibt 3 Typen) für gröberes Sediment (Kies) als beim BTMA-Typ angewendet werden.

Verfahren:	Siehe Verfahren beim BTMA.
Aufwand:	Messung und Ausarbeitung sehr arbeitsintensiv
Genauigkeit:	Ergebnisse sind noch nicht verfügbar, erwartet wird, dass dieses Gerät der Genauigkeit des BTMA-Typs entspricht.

c) Delft Nile Sampler

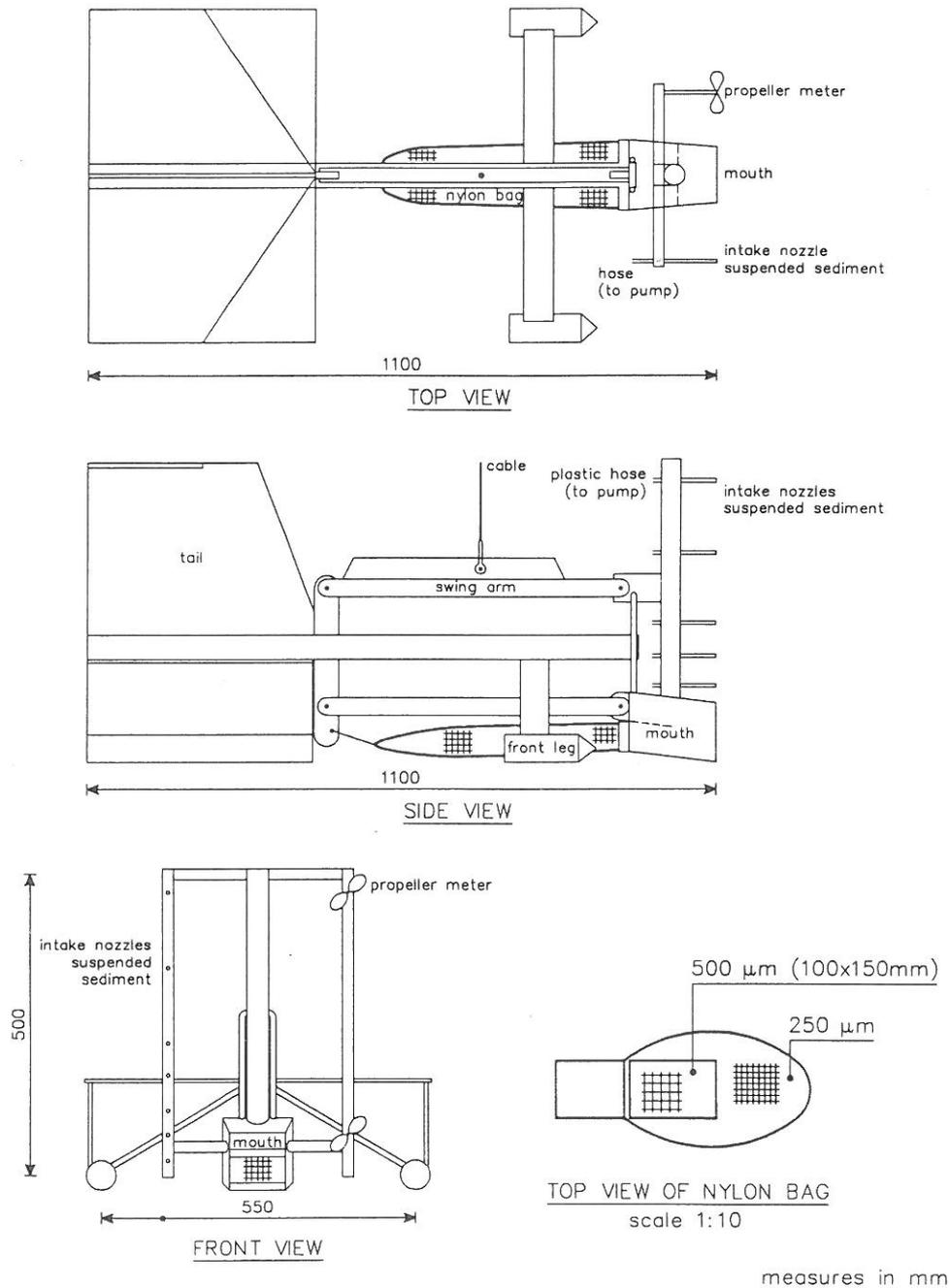


Fig. 43 Delft Nile sampler

Kurzbeschreibung:

Der Delft Nile Sampler ist von Delft Hydraulics namentlich für Flussmessungen entwickelt worden (erste Anwendung auf dem Nil). Das Prinzip ist mit dem BTMA-Typ zu vergleichen. Bei der Absenkung kommen erst die Schlitten auf den Boden und danach die Einströmungsöffnung. Beim Hochheben wird erst die Einströmungsöffnung frei. Eine Unterwasserkamera und eine Ott-Mühle können darüber hinaus festmontiert werden. Das abgefangene Material kommt über eine Einströmungsöffnung in einem Filterbeutel. Dieser Filterbeutel kann zur weiteren Bearbeitung der Probe aufgetrennt werden.

Genauigkeit: Um einen Eindruck der Zuverlässigkeit zu erhalten, sind noch zu wenig Erfahrungen mit dem Delft Nile Sampler gemacht worden. Es ist zu erwarten, dass vor allem durch die Weise, wie die Einströmungsöffnung/Eingang auf den Boden gesetzt wird, eine grössere Genauigkeit als bei dem BTMA-Typ zu erreichen ist.

Aufwand: Siehe BTMA.

## B. MESSUNG DES SEDIMENTTRANSPORTES DURCH DÜNENWANDERUNG

In den Niederlanden wird auch die sog. Dünenwanderungsmethode zur Messung des Sedimenttransportes angewendet. Dabei wird der Boden periodisch den Längsschnittlinien entlang vermessen. Durch Vergleich kann die Wanderungsgeschwindigkeit der Bettform festgestellt werden und damit auch der Sedimenttransport. Aus Analysen geht hervor, dass diese Methode, vor allem bei mittleren Abflüssen, genauere Ergebnisse bringt als die Methode mit Geschiebefängen.

Kurzbeschreibung:

Das Prinzip der "Dünenwanderungsmethode" lässt sich als Messung der Bettformprofile in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen beschreiben. Wenn von einer ungestörten Fortschreitung der Dünen ausgegangen wird, kann der Sedimenttransport berechnet werden. Zur Berechnung wurde eine Reihe von Formeln vorgeschlagen, darunter die Formel von Engel und Lau.

$$S_b = \alpha_s(1-\rho) p_s a \Xi$$

mit:

$S_b$	=	Sedimenttransport	(kg/ms)
$\alpha_s$	=	Formfaktor (0,5-0,6)	(-)
$\rho$	=	Porositätsfaktor (0,4)	(-)
$p_s$	=	Sedimentdichte (2650)	(kg/m <sup>3</sup> )
$a$	=	Mittlere Migrationsgeschwindigkeit	(m/s)
$\Xi$	=	Mittlere Bettformhöhe	(m)

Verfahren:

Zur Anwendung dieser Gleichung sind Migrationsgeschwindigkeit und Bettformhöhe aus den Bettprofilen zu bestimmen. Damit das Bettprofil nach einem Wahlverfahren beprobt werden kann, muss ein akkurates dreidimensionales Einstellungssystem verfügbar sein. Beispielsweise ein zweidimensionales System zur Einstellung in der Horizontalebene und ein Echolot für die dritte Dimension. Mit Hilfe eines Computerprogrammes können Geschwindigkeit (durch die Kreuzkorrelation) und Bettformhöhe festgestellt werden.

Zur Berechnung des mittleren Sedimenttransportes in einem Flussquerschnitt sind verschiedene Längenprofilmessungen durchzuführen.

Genauigkeit/  
Auswertung: In einschlägiger Literatur wurden unterschiedliche Zahlen bezüglich der Genauigkeit gefunden. Diese Zahlen geben Unterschiede von 22 bis 33% Prozent zwischen Berechnungen und Messungen an. In der Praxis rechnet man mit einer Abweichung von 50%.

Aufwand: Speziell zu wartende Computerprogramme und besonders genaue Peilungs- und Ortsbestimmungsapparatur sind erforderlich.

Vorteile/Nachteile: Genau im Vergleich Methode mit Geschiebefängen; nur anwendbar bei Dünen als Bettform.

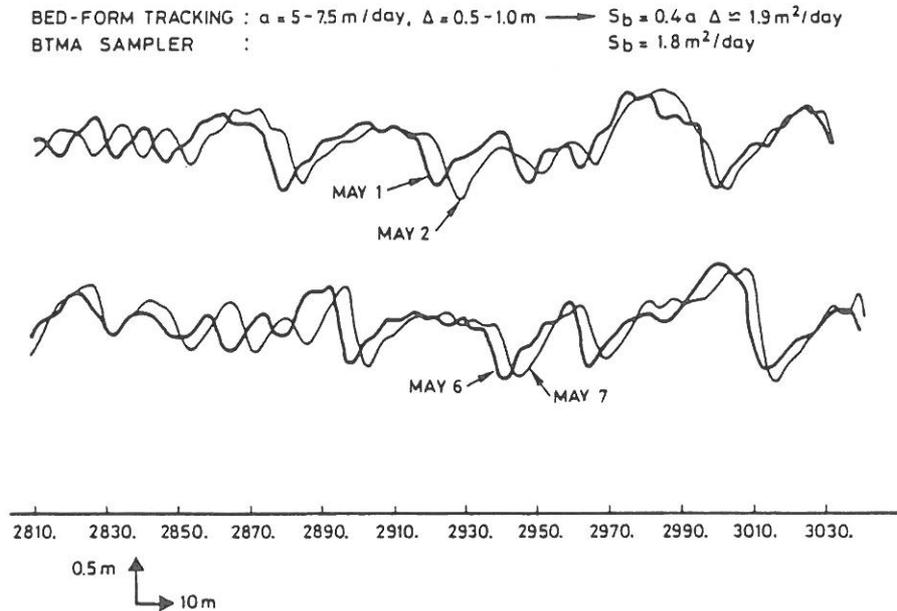


Fig. 44 Dünenwanderung

### 3.3.1.2 Schwebstoffführung

#### a) Die Delfter Flasche

Kurzbeschreibung:

Dieses Sediment-Probenahmegerät weist Flaschenform auf. Die Form des Probenahmekörpers induziert einen derartigen Niederdruck auf der Rückseite, dass das sedimenthaltige Wasser mit fast gleicher Geschwindigkeit wie die ungestörte Strömung in die Düse des Probenahmegeräts eingeleitet wird. Die starke Abnahme der Geschwindigkeit in breiten Probenahmekammern verursacht die Ablagerung des vorhandenen Sedimentes.

Verfahren:

1. Absenken der Delfter Flasche in die Strömung
2. Ablassen der Luft in der Flasche durch die Düse und/oder Öffnungen in der Rückseite
3. Die Delfter Flasche schnell in die Probenahmestellung bringen
4. Beginn der Probenahme
5. Herausziehen der Delfter Flasche aus dem Wasser
6. Entfernung des Wassers aus der Delfter Flasche

7. Sedimentprobe aus der Delfter Flasche in ein Messglas geben und Menge ablesen
8. (Wenn erforderlich): Sedimentprobe zur Laboranalyse geben

Genauigkeit: Feldmessungen zeigen für einzelne Proben Probenfehler bis zu 50%, selbst bei Anwendung des Kalibrierungsfaktors für die Entnahmegeschwindigkeit. In Anbetracht dieser hohen Fehlerquote kann die Delfter Flasche nur zur groben Schätzung des örtlichen Schwebstofftransportes angewendet werden.

Vorteile/Nachteile: Einfach und zuverlässig; nicht für Sedimentteilchen < 100 µm; lange Messperiode; nur zuverlässig mit Kalibrierungsfaktor.

*b) Das Pumpen-Filterprobenahmegerät (PFS)*

Kurzbeschreibung:

Die Wassersedimentprobe wird aus der Entnahmedüse mit einem Durchmesser von 16 mm durch einen Filter gepumpt, der alle Sedimentteilchen trennt, die grösser als die Maschenweite des verwendeten Filtermaterials sind. Zur Trennung der Sandfraktion kann Nylonfiltermaterial mit einer Maschenweite von 50 µm verwendet werden. Die Wassermenge wird mit einem einfachen Mengenanzeiger gemessen. Dieses Verfahren ist nicht für eine schlickreiche Umgebung (>50 mg/l) zu empfehlen, weil der Filter durch Feinschluffteilchen verstopft.

Verfahren:

1. Absenkung der Entnahmedüse zur Messung
2. Öffnen des Filtergehäuses, Anbringen des Filtermaterials
3. Schliessen des Filtergehäuses
4. Einstellung der Entnahmegeschwindigkeit entsprechend der gemessenen Strömungsgeschwindigkeit
5. Vor dem Spülen der Pumpe und der Schläuche (durch das Umleitsystem) eine Minute warten
6. Pumpen (durch den Filter), indem die Ventilstellung verändert wird
7. Durchführung der Probenahme während ein paar Minuten (z.B. 5 Minuten). Die Wassermenge wird auch gemessen und notiert.
8. Ventil wieder in die Ausgangsstellung zurückbringen
9. Öffnen des Filtergehäuses und Entfernen des Filters mit dem Sedimentfang
10. Sedimentfang zur Laboranalyse in eine Flasche geben

Die Sedimentkonzentration kann wie folgt bestimmt werden:

$$c = G_s/V$$

mit:

c = Sedimentkonzentration  
 $G_s$  = Trockenmasse der Sandprobe  
 V = Menge der gesamten Wasserprobe

Genauigkeit: Feldmessungen zeigen einen Probenfehler von ungefähr 20% an.

Vorteile/Nachteile: Einfache Laboranalyse; verhältnismässig lange Probenahmeperiode; grosse Sedimentmenge; schnelle aufeinanderfolgende Messungen möglich (Zykluszeit 10 min.); nicht anwendbar in schlammreichem Wasser; erforderlich sind: Pumpe, Kran, Elektrizität; Apparatur ist störanfällig.

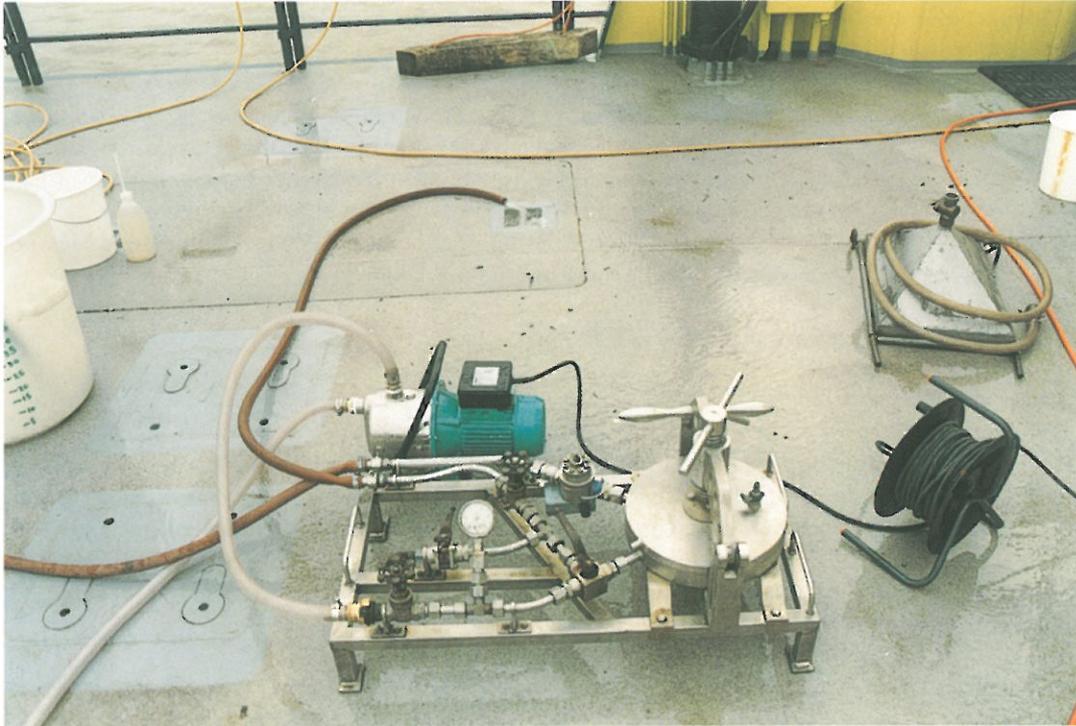


Fig. 45 Pumpen-Filterprobenahmegerät (PFS)

c) Minipumpen-Filterprobenahmegerät (Mini-PFS)

Kurzbeschreibung:

Das Mini-PFS-Gerät arbeitet grundsätzlich wie das PFS.

Das MPFS-Gerät hat 3 oder mehr Entnahmeöffnungen. Der Hauptunterschied ist ein geringerer Durchmesser der Entnahmedüse (3 mm gegenüber 16 mm). Die Wassersedimentprobe wird nicht gefiltert, sondern in ein Becken eingeleitet. Nach der Ablagerung wird die Sandprobe entfernt und ins Labor zur Analyse gebracht.

Verfahren:

Siehe Verfahren für das PFS-Gerät.

Genauigkeit/

Auswertung: Ein Probenfehler von 20% ist angezeigt.

Vorteile/Nachteile: Siehe PFS.

d) Akustischer Sandtransport-Monitor (AZTM)

Kurzbeschreibung:

Der Akustische Sandtransport-Monitor funktioniert mittels Übertragung und Streuung von Ultraschall durch die Partikel in der gemessenen Menge. Durch Nutzung der Amplitudendämpfung und der Frequenzverschiebung (Doppler-Effekt) können die Konzentration und Geschwindigkeit und folglich der Transport der Sandteilchen gleichzeitig und kontinuierlich bestimmt werden.

Der AZTM besteht aus einem Sensor mit einer Vorverstärkereinheit, die auf einem Tauchrahmen montiert ist. Ein Umformer mit Frontplatteninstrumenten und -schaltern befindet sich an Bord des Messschiffes und ist mit dem AZTM durch Kabel verbunden.

Die Geschwindigkeitsmessung ist eindimensional und mit der Ausrichtung des Rahmens verbunden. Die senkrechte Position wird mit Hilfe eines Druckmessers (Entfernung zur Wasseroberfläche) und eines Echolotes (Entfernung zum Flussbett) gemessen. Beide sind auf dem Rahmen montiert. Eine Sendefrequenz von 4,5 MHz wurde gewählt, um die Teilchengrößen-Abhängigkeit zu reduzieren und das Instrument für Sinkstoffteilchen unempfindlich zu machen ( $< 50 \mu\text{m}$ ). Der Temperatur- und Salinitätseinfluss sind gering.

Verfahren:

1. Sensor in die gewünschte Position bringen
2. Beginn der Probenahme für die gewünschte Zeitdauer
3. Ausgangssignale ablesen
4. Gleichzeitig wird mit einem PFS eine Probe zum Vergleich genommen.

Das Verhältnis zwischen Ausgangssignal und Konzentrationswert ist eine einfache lineare Gleichung:

$$O = k \cdot C$$

O = Ausgangssignal

C = Konzentration

k = Kalibrationsfaktor

Der Kalibrationsfaktor hängt von den Wandlereigenschaften sowie der Teilchengröße und -form ab.

Genauigkeit/

Auswertung: Die Gesamtgenauigkeit des Instrumentes beträgt ungefähr 20%. Die gemessene Konzentration hängt von der Teilchengröße ab. Darum ist eine gute Kalibrierung der Teilchengröße wichtig.

Aufwand: Die Anschaffungskosten sind hoch, etwa 45.000,- DM. Da die Apparatur sehr störanfällig ist, sind die Unterhaltskosten relativ hoch.

Vorteile/Nachteile: Grosser Bereich für Geschwindigkeit und Sedimentkonzentration; schnelle Aufeinanderfolge von Messungen möglich (5 min); unempfindlich gegen Temperaturwechsel und Sensorverschmutzung; für Konzentrationsmessungen ist Kalibrierung erforderlich; störanfällige Apparatur; schwer und umfangreich; nicht geeignet für Schlammessungen.

#### e) Schlicktransportmesser

Kurzbeschreibung:

Ein paralleles Lichtbündel fällt durch ein mit einer Flüssigkeit gefülltes Glasrohr. Je nach Schlickteilmenge tritt eine stärkere oder schwächere Lichtabschwächung auf (Streuung). Aus der Lichtabschwächung lässt sich die Trübung ableiten. Die Trübung ist ihrerseits wiederum ein Massstab für die passierende Schlickmenge.

Verfahren:

Es gibt im Grunde zwei Möglichkeiten. Entweder wird Wasser und Schlick durch das Gerät geleitet und die Trübung wird kontinuierlich gemessen, oder man entnimmt (nicht kontinuierliche) Proben.

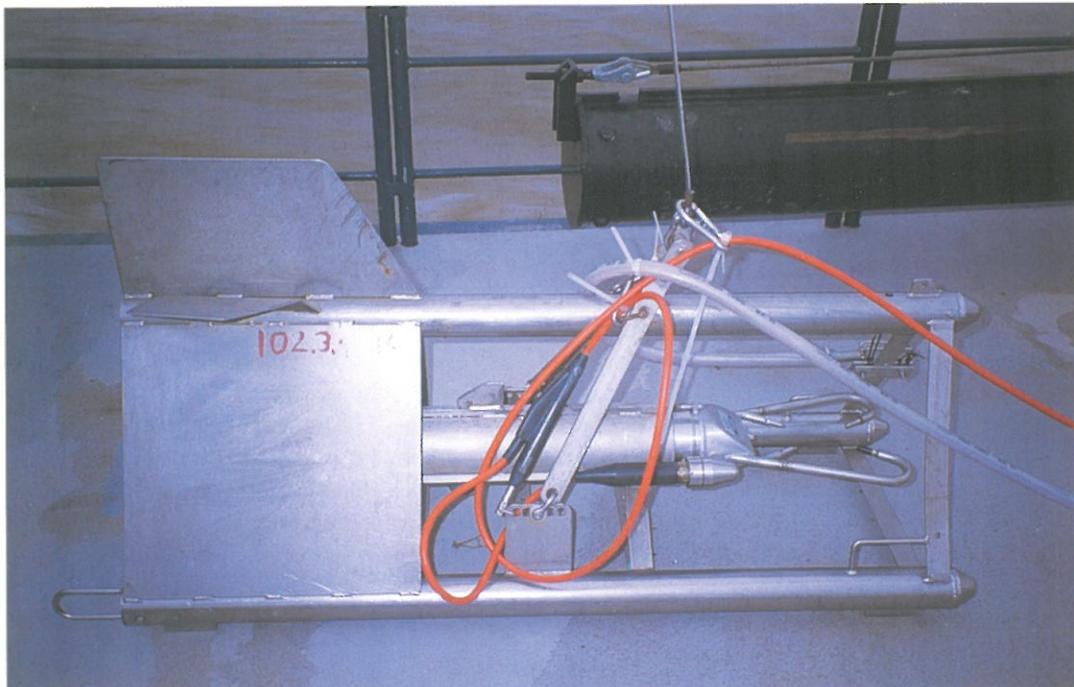
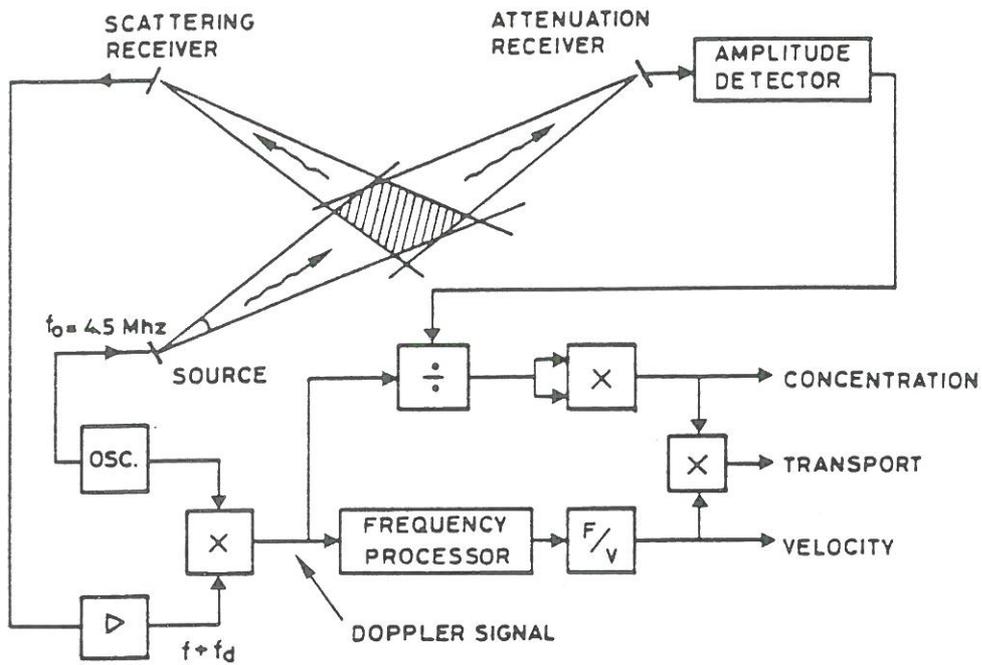


Fig. 46 Prinzip AZTM

Die Trübungswerte werden mit Hilfe von Eichbeziehungen in Schlickkonzentrationen umgesetzt.

Genauigkeit/  
Auswertung:

Die Kalibration von Trübungsmessern ist schwer, da die Relation zwischen Trübung und Konzentration auch schllicksortenabhängig ist. Folglich muss für jede Schllickart erst eine Kalibrationsrelation festgesetzt werden. Folgende Punkte haben darauf Einfluss:

- die Stoffart,
- die Härtheit der Teilchen,
- die Form,
- der Durchmesser.

In natürlicher Umgebung ist vor allem die Korngrößenverteilung wichtig. Somit ist regelmässiges Kalibrieren der Geräte (manchmal sogar täglich!) unumgänglich, um zuverlässige Informationen aus Trübungsmessungen zu erhalten. Für die Ableitung von Transportraten aus der Konzentrationsbestimmung muss jedoch auch die Wassergeschwindigkeit bekannt sein.

Aufwand: Anschaffungskosten relativ hoch (10.000-15.000 DM).

Vorteile/Nachteile: Dauersignal; grosser Messbereich; ungenau bei niedrigen Konzentrationen (<100 mg/l); sehr regelmässige Kalibrierung erforderlich; nicht geeignet für Sandteilchen; störanfällige Apparatur.

#### f) Durchströmzentrifuge (siehe Fig. 40)

Kurzbeschreibung:

Dieses Gerät beruht auf einer physischen Trennung durch Zentrifugieren. Teilchen mit höherem Dichtegrad als die Flüssigkeit werden gegen die Zentrifugenwand gepresst. Durch Vergleich des Gesamtgewichtes der Teilchen an der durchgeströmten Wassermenge lässt sich der Schlickgehalt bestimmen. Die Durchströmzentrifuge wird hauptsächlich in der Schlammqualitätsstudie benutzt. Für morphologische Zielsetzungen wird die Zentrifuge jedoch selten eingesetzt.

Verfahren:

Die Zentrifuge enthält einen schnelldrehenden axialen Zylinder. Das zu untersuchende Wasser wird von unten in den Zylinder eingeführt und durch die Fliehkraft als Flüssigkeitsschicht gegen die Wand gepresst. Infolge des Pumpendruckes verschiebt sich diese Flüssigkeitsschicht nach oben. Um dem Wasser eine ausreichende Umdrehungsgeschwindigkeit zu geben, ist eine Spindel mit drei Schubblättern eingebaut. Der sich in der Flüssigkeitsschicht befindliche Schlick unterliegt dem Einfluss der Zentrifugalkraft. Teilchen mit grösserem spezifischem Gewicht schlagen sich rascher auf der Trommelwand nieder als leichte Teilchen. Das jeweilige spezifische Gewicht und die Aufenthaltsdauer in der Trommel bestimmen, ob sich das Teilchen niederschlägt oder wieder mit dem abfliessenden Flüssigkeitsstrom mitgeführt wird. Wenn der Durchfluss zu hoch ist, werden die feinen Teilchen folglich nicht abgefangen.

Um die Verarbeitung nicht zu erschweren und um eine Verschmutzung des Schlicks durch die Zylinderwand zu vermeiden, wird der Schlick an der Innenseite des Zylinders auf Teflonplatten gesammelt.

Nach der Probenahme werden diese Platten entfernt und der niedergeschlagene Schlick wird abgeschabt.

Genauigkeit/

Auswertung: Um anhand der Gehaltsbestimmung auch etwas über den Transport aussagen zu können, muss man auch über Wassergeschwindigkeitsangaben verfügen.

## 4. ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN IN SEEN UND STAURÄUMEN

### 4.1 IN DER SCHWEIZ ANGEWENDETE MESSMETHODEN

Der weitaus grösste Teil aller Feststoffe wird den Seen durch einmündende Fliessgewässer zugeführt. Direkteintrag durch Steinschlag, Rutschungen, usw. in den See ist meistens unbedeutend. Das Geschiebe und die gröberen Schwebstoffe lagern sich in der Regel unmittelbar nach der Einmündung ab und bilden das Delta. Nach der Einmündung erfolgt eine nach Korngrösse gestaffelte Fraktionierung und Ablagerung der eingetragenen Partikel. Die feinkörnigeren Anteile werden über grössere Distanzen durch seeinterne Strömungen verfrachtet, bevor sie auf den Grund sinken oder aber den See über den Ausfluss wieder verlassen. Die Erfassung des horizontalen Partikelflusses ist wegen der meist komplexen Strömungsverhältnisse ein schwieriges Unterfangen. Auch teilweise strömungsabhängig aber etwas leichter erfassbar ist der vertikale Partikelfluss ("Sinkstoffe"), welcher letztlich zur Sedimentation und damit zur Verlandung führt, welche v.a. in Stauhaltungen von Bedeutung sein kann. Die Auffangwirkung eines Sees kann durch Bilanzierung der Feststofffrachten im Zu- und Abfluss abgeschätzt werden.

#### 4.1.1 Feststoffeintrag

Kurzbeschreibung:

Bestimmung der Ablagerungsvolumina durch wiederholte Deltavermessungen oder Seegrundaufnahmen. Nähere Angaben zum Instrumentarium finden sich in Kap. 5.1.

- Aufwand: Abhängig von der Grösse des Deltas und der erforderlichen Messgenauigkeit. Je nach Einzugsgebiet und Feststoffbelastung des Zuflusses genügen Aufnahmen im zeitlichen Abstand von etwa 10 Jahren (vgl. Rheindelta im Bodensee).
- Genauigkeit: Abhängig von Messtechnik und Lotungsdichte
- Auswertung und Interpretation: In bestimmten zeitlichen Abständen wiederholte Seegrundaufnahmen ermöglichen die Bestimmung von Änderungen der Ablagerungsvolumina. Dabei sind nur Aussagen über den Gesamteintrag möglich, wobei berücksichtigt werden muss, dass ein Teil der eingetragenen Schwebstoffe den See wieder verlassen kann. Der Geschiebeanteil am Delta hängt vom Charakter des Zuflusses ab. Rückschlüsse auf die Geschiebefracht des Zuflusses sind nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich.
- Vorteile/Nachteile: Solche Deltavermessungen können in der Regel nur langfristig geplant werden. Dies bedingt, dass die interessanten Extremereignisse praktisch nicht erfassbar sind. Für die Erfassung der Jahresfrachten sind kostspielige Messkampagnen erforderlich. Zusätzlich müssen Proben genommen und bezüglich Kornverteilung und Lagerungsdichte analysiert werden. Vor allem bei kleinen Volumenänderungen ist die Bestimmung der Geschiebefracht aufgrund von Deltavermessungen unsicher. Sie stellen jedoch eine Kontrollmöglichkeit für den Geschiebehaushalt dar, besonders wenn die Messungen regelmässig wiederholt werden.

#### 4.1.2 Schwebstoffkonzentration

Um den Schwebstoffinhalt eines Sees zu bestimmen, muss die Schwebstoffkonzentration in möglichst vielen Vertikalprofilen bestimmt werden. Daraus kann eine mittlere Konzentration und durch Multiplikation mit dem Seevolumen der momentane Schwebstoffinhalt ermittelt werden. Der vertikale Partikelflux wird mit Hilfe von Sedimentfallen bestimmt und zwar als Schwebstoffmenge pro Fläche mal Zeit. Gebräuchlichste Einheit:  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$ .

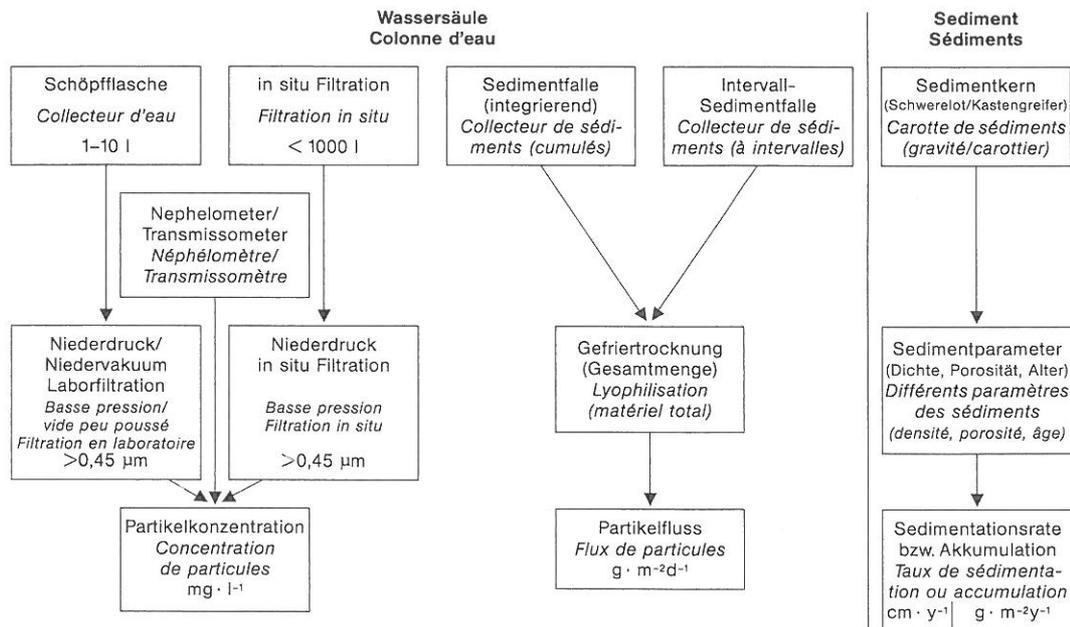


Fig. 47 Gebräuchliche Techniken zur Entnahme und Quantifizierung von Schwebstoffen und Sedi-  
menten in Seen

Die Heterogenität von Schwebstoffen und Sedimenten in Seen bedingt je nach Fragestellung auch eine unterschiedliche Art der Probennahme und der anschliessenden Laborverarbeitung. In Figur 48 sind die wichtigsten sedimentologischen Feld- und Labormethoden zusammengefasst. Daneben werden vermehrt Trübungsmesser eingesetzt.

#### a) Multisonden

Eine direkte Bestimmung von Schwebstoffverteilungen in der Wassersäule eines Sees wird heute mit Sonden durchgeführt, welche die Transmission bzw. die Lichtstreuung in der Wassersäule messen.

Kurzbeschreibung:

Die eingesetzten Sonden (z. B. ME-Multisonde, SEAbird, OTS-Sonde etc.) sind dabei in der Regel mit weiteren Mess-Sonden kombiniert, welche gleichzeitig auch noch andere Parameter bestimmen können (Druck, Temperatur, Leitfähigkeit,  $O_2$ ). Durch die kontinuierliche Aufnahme von Wasserprofilen, welche digital abgespeichert werden, kann das Vorhandensein und die Tiefenlage der auftretenden Schwebstoffhorizonte genau und rasch bestimmt werden.

Genauigkeit:	Gross
Aufwand:	Gering, wenn die nötige Infrastruktur vorhanden ist
Vorteil:	Kontinuierliche Messung, grosse Genauigkeit, rasche Aufnahme
Nachteil:	Keine Schwebstoffproben, teuer
Erfahrungsdauer:	Es wurden viele Messkampagnen durchgeführt.

#### b) Probennahme mit Schöpfflaschen

Die "ursprünglichste" und auch einfachste Form der Probennahme ist diejenige mit Schöpfflaschen, welche auf der gewünschten Tiefe verschlossen werden können. Von der klassischen Nansen-

Flasche (Kippschöpfer) existiert mittlerweile eine ganze Reihe von Abwandlungen, wobei das Prinzip im wesentlichen gleich geblieben ist. Bei den heute am meisten verwendeten Schöpfflaschen handelt es sich um NISKIN-Flaschen, mit denen je nach Flascheninhalt Wasserproben von 2 l bis >20 l aus beliebigen Wassertiefen entnommen werden können.

Bei kleinen Konzentrationen werden oft grössere Probenvolumen benötigt. Deshalb werden Schöpfflaschen mit unterschiedlichem Fassungsvermögen verwendet. Es existieren Systeme, die eine simultane Probennahme in verschiedenen Tiefen im gleichen Profil erlauben: Dabei werden die einzelnen Schöpfflaschen an einem Seil in den gewünschten Abständen fixiert und im See auf Position gebracht. Durch Freigabe eines Fallgewichts vom Boot aus wird die oberste Schöpfflasche im Profil geschlossen und durch den Schliessvorgang ein weiteres, an der obersten Schöpfflasche befestigtes Fallgewicht freigegeben; dieses bewirkt die Schliessung der nächstunteren Flasche und so fort. Diese Kettenreaktion dauert je nach Wassertiefe und Anzahl Entnahmeniveaus maximal wenige Minuten, so dass eine quasi gleichzeitige Entnahme möglich ist. Abgesehen davon kann der Arbeitsvorgang rationeller abgewickelt werden als mit einer einzigen Flasche, welche nacheinander auf alle gewünschten Niveaus gebracht werden muss. Der Nachteil ist, dass keine kontinuierliche Messung stattfindet und nur kleine Schwebstoffproben entnommen werden können.

Kurzbeschreibung:

Die zunächst an beiden Enden geöffneten Schöpfer werden dabei in die gewünschte Tiefe abgelassen und dann mit einem Auslöser geschlossen. Entnahme von Wasserproben durch Schöpfen oder Pumpen und nachträgliches Analysieren im Labor (Filtrieren, Eindampfen Zentrifugieren, etc.).

Genauigkeit:	Genügend bis gut
Aufwand:	Einfache Handhabung, robuste Methode, relativ billig. Der Aufwand wird durch den Umfang der Probennahmen und die notwendigen Laboruntersuchungen bestimmt.
Erfahrungsdauer:	Langjährig.

#### *c) In-situ Filtration*

Bei sehr kleinen Schwebstoff-Konzentrationen oder beim Bedarf grösserer Schwebstoffmengen (für bestimmte Laboruntersuchungen) müssen entweder wesentlich grössere Wasserproben (100 – 200 l) für die nachfolgende Filtration geschöpft werden oder es werden mit abgesenkten Pump/Filtrationseinrichtungen in-situ grosse Wassermengen (1000 l) direkt filtriert.

Aufwand:	Grosser Zeitbedarf, erfordert zudem eine aufwendige Infrastruktur.
Vorteil:	Grosse Schwebstoffproben, in-situ Probennahme
Nachteil:	Keine kontinuierliche Messung, sehr zeitaufwendig, komplizierte Infrastruktur.

#### *d) Probennahme mit Pumpen*

Bei diesem Verfahren wird das Wasser direkt aus der Tiefe an die Oberfläche gepumpt. Hier kann es entweder direkt filtriert oder zentrifugiert werden (Durchlaufzentrifuge). Ein grosser Vorteil dieser Methode liegt darin, dass grosse Probenvolumen an Ort und Stelle schnell verarbeitet werden können. Nachteilig fällt ins Gewicht, dass die Pumpenleistung begrenzt ist. Im Genfersee konnten allerdings mit einem mittleren Aggregat Wassertiefen von bis zu 50 m mühelos beprobt werden.

#### *e) Trübungsmessung*

Mit der optischen Trübungsmessung können relative Änderungen der Schwebstoffkonzentration rasch und zuverlässig festgehalten werden. Diese Messungen sollten jedoch durch Analysen

von Wasserproben ergänzt werden. Die Trübungsmessung – meist durch Aufnahmen vertikaler Profile – hat sich in der Seenforschung insoweit bewährt, als bestimmte Trübungshorizonte damit rasch lokalisiert werden können und ihre räumliche Ausdehnung dadurch einfach abzugrenzen ist. Über die Ursache der Trübung sowie über die Konzentration und Zusammensetzung der suspendierten Partikel können Trübungswerte alleine keine zuverlässigen Angaben liefern. Diese Informationen müssen durch Analyse von Wasserproben erworben werden. In einzelnen spezifischen Fällen können mit Hilfe von “Eichkurven”, welche aufgrund zahlreicher Analysen erstellt wurden, Trübungswerte auf Konzentrationen umgerechnet werden. Solche Messungen sind jedoch durch Stichproben laufend zu kontrollieren. In der Regel bleibt der Trübungsmessung die Rolle eines schnellen, praktischen Hilfsmittels zur Lokalisierung trüber Zonen vorbehalten, wo dann gezielt Proben entnommen werden können. Unter günstigen Umständen können Trübungswerte dazu verwendet werden, relative Konzentrationsänderungen räumlich abzugrenzen.

Genauigkeit: Für die einzelnen Proben gross. Bei Extrapolation auf den gesamten Wasserkörper muss berücksichtigt werden, dass ausgeprägte “Trübungshorizonte” durch die Probennahme unter Umständen ungenügend erfasst werden.

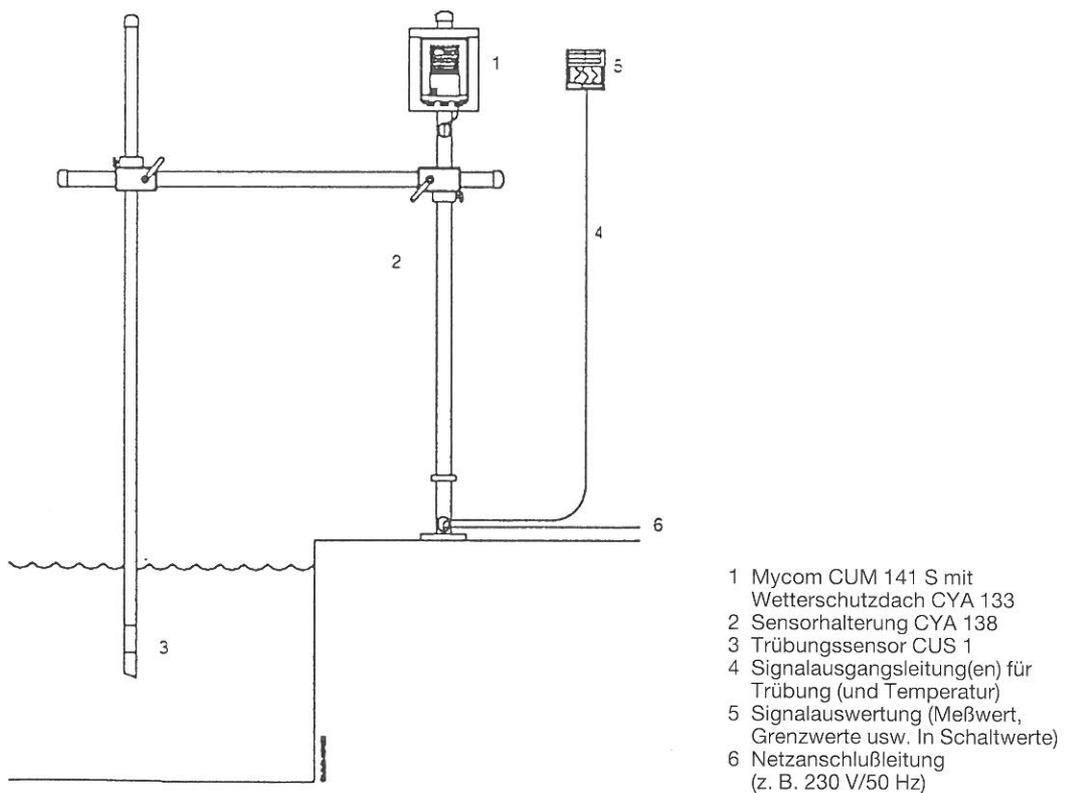


Fig. 48 Prinzip eines Trübungsmessgerätes

#### 4.1.3 Sedimentationsraten

Zur Bestimmung der Sedimentationsraten (Schichtmächtigkeit der pro Zeiteinheit abgelagerten Sedimente) bestehen verschiedene direkte Messmethoden:

- Sedimentfallen
- Sedimentpegel
- Sedimentprofile (vertikal)
- Seegrundaufnahmen.

Der Einsatz dieser Verfahren richtet sich nach der jeweiligen Problemstellung, wobei noch einzelne Geräte zu verbessern sind.

Bei allen aufgeführten Methoden ist die Veränderung der Lagerungsdichte im Laufe der Zeit zu berücksichtigen.

#### *a) Sedimentfallen*

Mit Sedimentfallen können absinkende Feststoffpartikel im Wasser aufgefangen werden. Es ist zwischen integrierenden und zeitauflösenden Systemen zu unterscheiden: Erstere sammeln über die gesamte Expositionszeit den anfallenden Sedimentniederschlag. Die Intervall-Sedimentationsfallen ermöglichen während der Expositionszeit die Entnahme verschiedener Einzelproben in wählbaren zeitlichen Abständen. Durch sinnvolle Kombination beider Systeme können Messfehler hinreichend kompensiert werden. Diese Techniken haben sich in vielen Fällen bewährt; sie verlangen aber einen verhältnismässig hohen Aufwand bei der Verankerung im See sowie bei der Bergung.

Grössere Seeströmungen können Messfehler zur Folge haben. Das gleichzeitige Messen von Strömungen ist deshalb zu empfehlen: der Aufwand wird dadurch allerdings grösser.

Kurzbeschreibung:

Am Grund eines "stehenden" Gewässers werden Gefässe ausgesetzt, welche analog einem Pluvio- meter den Sediment- "Regen" auffangen.

Aufwand:	Abhängigkeit von der Seetiefe. Die Durchführung der Messung, insbesondere die Bergung der Fallen nach abgelaufener Messperiode, ist heikel.
Genauigkeit:	Vorausgesetzt, dass bei der Bergung der Pfannen die darin abgesetzten Feststoffe nicht herausgeschwemmt werden, sind mit dieser Methode gute Werte zu erzielen. Eine wesentliche Bedingung ist jedoch, dass an der Messstelle nur geringe Strömungen vorhanden sind, welche den Absetzvorgang der Sedimente störend beeinflussen könnten, z.B. Suspensions-Dichteströme.
Vorteile/Nachteile:	Es handelt sich um eine sehr nützliche aber heikle Methode, welche grosse Sorgfalt erfordert. Es sollten Geräte entwickelt werden, welche sich vor der Bergung verschliessen lassen.
Auswertung:	Im Prinzip an Ort und Stelle (Schiff), wobei die Proben zusätzlich im Labor auf Schichtung und Zusammensetzung hin untersucht werden können.
Interpretation:	Abhängig von der Dichte des Messnetzes und des örtlichen Strömungsfeldes.
Erfahrungsdauer:	Langjährig.

#### *b) Sedimentations-Integralfalle*

Kurzbeschreibung:

Integralfallen zur Bestimmung von Schwebstoffsedimentationsraten bestehen in der Regel aus Zylindern mit Abmessungen in ganz bestimmten Verhältnissen, welche eine Über- bzw. Unterfängigkeit der Falle verhindern sollen. Nach vielen in der Literatur beschriebenen und in Labortanks oder in-situ durchgeführten Fallentests sind Fallen mit einem Durchmesser/Höhe-Verhältnis (aspect ratio) von 1:5 und darunter unterfänglich, während Fallen mit aspect ratios von 1:12 und darüber überfänglich reagieren. In Fig. 49 ist eine Zylinderfalle aus Plexiglas mit auswechselbarem Probenbehälter dargestellt, wie sie in den letzten Jahren bei Einsätzen der EAWAG verwendet wurde.



Fig. 49 Zylinderfalle aus Plexiglas mit auswechselbaren Probenbehältern. Mit einem Durchmesser von 10 cm und einer Gesamthöhe von 100 cm haben sie eine aktive Probenfläche von 65 cm<sup>2</sup> und eine aspect ratio von 1:10.

- Vorteil: Einfache Konstruktion, leicht, rasche Handhabung.  
 Nachteil: Kurze Expositionszeiten, nur durch häufiges Auswechseln der gesamten Verankerung möglich.  
 Erfahrungsdauer: Langjährig.

Eine ganze Reihe von Messungen (Sedimentationsfallen, Thermistorenketten, Strömungsmessungen), die in tiefen Seen durchgeführt werden, benötigen eine stabile Verankerung in der Wassersäule. Die in Fig. 50 dargestellte Anordnung erlaubt es eine Messverankerung mit einer Oberflächen-Boje zu betreiben.

- Vorteil: Direkter Zugang, einfache Anordnung, keine elektronische Auslöser.  
 Nachteil: Störung durch Unbefugte, mögliche Beeinflussung durch Wind.

In der in Fig. 51 dargestellten Anordnung wird ein akustischer (oder mechanischer) Auslöser benötigt, um die Messkette und die entsprechenden Messgeräte bergen zu können.

- Vorteil: Keine Störung durch Unbefugte  
 Nachteil: Kein direkter Zugang, Notwendigkeit eines Auslösers.

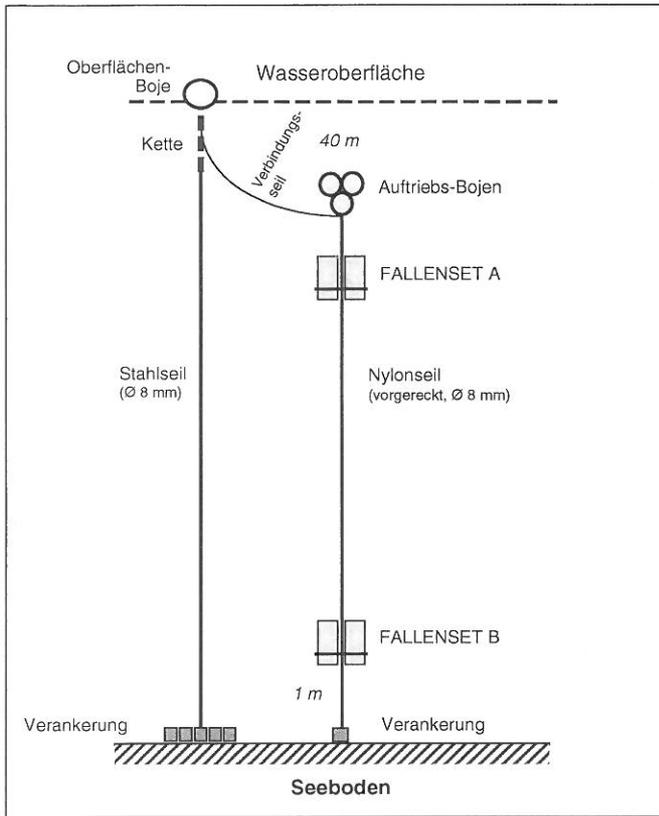


Fig. 50 Sedimentfallen-Verankerung mit Oberflächenboje

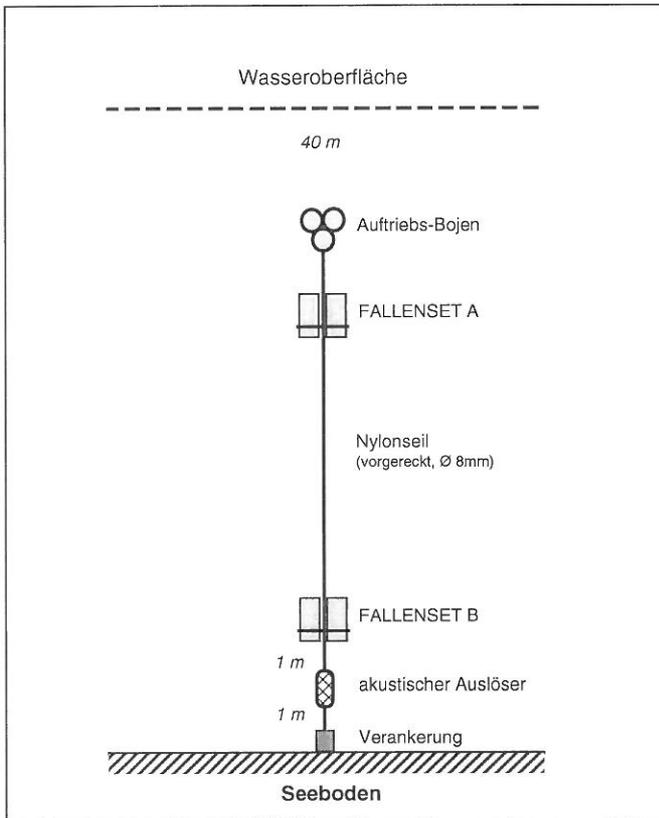


Fig. 51 Sedimentfallen-Verankerung mit tiefgesetztem Auftrieb und akustischem Auslöser

### c) *Sedimentpegel*

Kurzbeschreibung:

Analog einem Schneepegel wird an einer in den Seegrund gerammten Messstange die vertikale Veränderung der Sedimentoberfläche abgelesen.

- Aufwand: Die Ablesung bedingt entweder den Einsatz von Tauchern oder von ferngesteuerten Unterwasser-Kameras. Der Aufwand wächst somit mit der Dichte des Messnetzes und mit der Tiefe des untersuchten Gewässers.
- Genauigkeit: Hoch, vorausgesetzt, dass die Ablagerungen im Bereich des Pegels nicht durch Strömungen oder während der Beobachtung gestört werden.
- Vorteile/Nachteile: Aus praktischen Gründen eher auf Flachwasserbereiche beschränkt anwendbar sowie auf Gebiete, wo die Pegel nicht stören (Schifffahrt, Fischerei, etc.).

### d) *Sedimentprofile*

Kurzbeschreibung:

Es werden mit Hilfe von Kastengreifer, Kolbenlot (Fig. 52) oder Bohrung ungestörte Sedimentproben aus dem Seegrund entnommen. Für die Bestimmung von Sedimentationsraten muss eine datierte Referenzschicht (u.a. auch künstliche) vorhanden sein.

- Aufwand: Je nach verwendetem Gerät gross bis sehr gross und abhängig von der erforderlichen Eindringtiefe.
- Genauigkeit: Bei ungestörten Proben gross; im Vertikalprofil können auch Anhaltspunkte über die Kompaktheit der Ablagerungen gewonnen werden.
- Vorteile/Nachteile: Nur bei Vorhandensein zuverlässiger Referenzschichten ist diese Methode für die Bestimmung von Ablagerungsraten sinnvoll.
- Auswertung und Interpretation: Je nach Beschaffenheit ("Erkennbarkeit") der Referenzschicht(en) recht aufwendig.

### e) *Kernproben aus Seesedimenten*

Hauptzweck: Entnahme vertikaler, ungestörter Sedimentkerne (Durchmesser 6 cm) von bis zu 12 m Länge aus praktisch unbegrenzter Wassertiefe.

Kurzbeschreibung und Funktion des Gerätes:

Hauptelement ist ein längenvariables Stahlrohr (mit innenliegendem Kunststoffrohr zur direkten Aufnahme der Kernprobe). Am oberen Ende wird ein Gewichtsteil angebracht (Bleiplatten für die Gewichtsregulierung bis zu einigen 100 kg). Das Gerät wird über einen Ausklinkmechanismus mit einem Stahlseil verbunden und mit einer Motorwinde von der Arbeitsplattform auf Tiefe geführt. Wenn das Gegengewicht am Hebel des Auslösegerätes den Seegrund erreicht, wird das Kolbenlot ausgeklinkt; es durchfährt die letzten Meter der Wassersäule im freien Fall und wird dadurch in das Sediment gerammt. Der im Rohrinne befindliche (über ein Seil mit dem Ausklinkmechanismus verbundene) Kolben verbleibt dabei auf der Höhe des Seegrundes; dies verhindert das Zusammenpressen des ins Rohr gleitenden Sedimentkerns (infolge Reibung am Innenrohr).

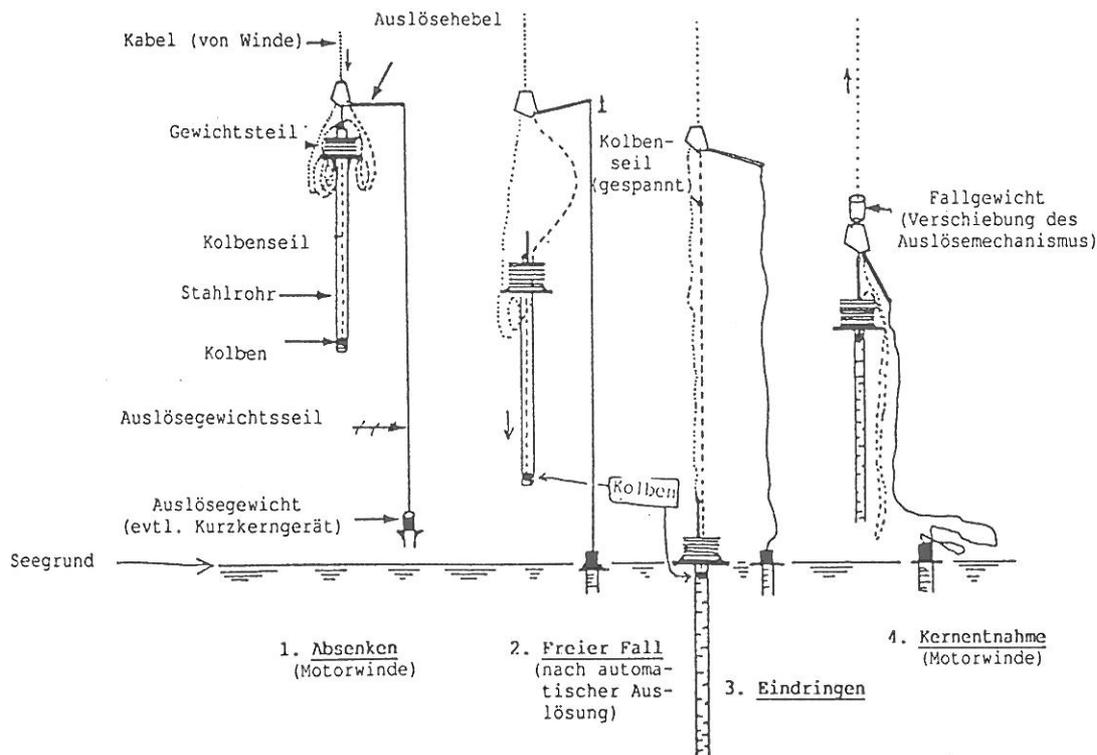


Fig. 52 Schematische Funktion des Kolbenlots

Das Auslösegewicht kann (muss nicht) als Gerät für die Entnahme eines Kurzkerne konzipiert sein (als Ergänzung der "Hauptbohrung", in der die oberflächennahen Sedimentschichten durch den Sog des Kolbens leicht gestört sein können).

**Erfahrungen:** Das am Geologischen Institut der ETH Zürich konzipierte Modulsystem ist eine Adaptation der wesentlich schwereren, in der Ozeanographie verwendeten Geräte an die bescheideneren Verhältnisse der Seenforschung. Das modular aufgebaute ETH-Kolbenlot ist seit Ende der 60er Jahre in vielen Seen des In- und Auslandes erfolgreich eingesetzt worden; verschiedene Institutionen verwenden heute dieses System. Das gewonnene Kernmaterial ist meist von ausgezeichneter Qualität.

**Aufwand:** Die Handhabung des Kolbenlots erfordert eine Arbeitsplattform genügender Grösse (ca. 5 x 8 m, Minimalauftrieb 2 t) mit Kranausleger oder Dreibein sowie eine Motorwinde (Seillänge der Seetiefe angepasst). Die Bereitstellung des Kernmaterials für die Analyse im Labor erfordert eine geeignete Einrichtung zur Öffnung der Kunststoffrohre (Kreissäge für Längsschnitte).

#### f) Seegrundaufnahmen

Seegrundaufnahmen werden in der Schweiz seit rund 100 Jahren mehr oder weniger systematisch durchgeführt. In früheren Jahren wurden sie mit Loten, seit etwa 30 Jahren mit Echoloten durchgeführt. Vgl. Kap. 5.

## 4.2 IN DEUTSCHLAND ANGEWENDETE MESSMETHODEN FÜR DIE ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN IN SEEN UND STAUÄUMEN

In Seen und Stauräumen werden die gleichen Geräte und Messmethoden eingesetzt, wie im Abschnitt 3.2 beschrieben.

Zur Erfassung von Sedimenten werden Sammelkästen in verschiedenen Tiefen abgehängt, welche die sedimentierenden Teilchen auffangen.

## 4.3 IN DEN NIEDERLANDEN ANGEWENDETE MESSMETHODEN FÜR DIE ERFASSUNG VON FESTSTOFFEN IN SEEN UND STAUÄUMEN

### 4.3.1 Bodenprobenentnahmegeräte

#### A. GERÄTE FÜR DIE ENTNAHME VON OBERFLÄCHENNAHEN PROBEN AUS DER SOHLE

Für die Entnahme von Oberflächenproben vom Boden ist in den Niederlanden eine Vielzahl von Instrumenten verfügbar. Es sind dies:

- Orange-peel-Greifer (Nordsee)
- Hamon-Schöpfer (Nordsee)
- van Veen-Greifer
- Ekman-Greifer, für ökologische Zielsetzungen (Seen, Bühnenfelder, Kieslöcher)
- Jenkins-Mudsampler (Seen)
- Schürfkübel.

Von diesen Geräten werden nur der van Veen Greifer und der Schürfkübel intensiv in den niederländischen Rheinzweigen benutzt. Mit diesen Instrumenten verfügt man über eine sehr breite Erfahrung. Um verhältnismässig ungestörte Proben von Schluffböden in Flusshäfen oder Bühnenfeldern zu nehmen, wird gelegentlich der Ekman-Greifer benutzt. Die übrigen Geräte werden regelmässig im Meer, den Estuarien und dem IJsselmeer, jedoch nicht oder kaum in den niederländischen Rheinzweigen verwendet. Die Beschreibung dieser Geräte wird deshalb kurz gehalten.

#### *a) Orange-peel Greifer*

Kurzbeschreibung:

Der Orange-peel-Greifer ist ein Greifer aus sechs gleichen, zahnförmigen und gegenseitig scharnierenden Schaufeln. Wenn sie geschlossen sind, bilden sie eine Kugel. Der Orange-peel-Greifer wird offen abgesenkt. Die sechs Schaufeln dringen in den Boden und schliessen sich beim Anheben, wodurch ein Stück Sediment miteingeschlossen wird.

Die Bemusterungsoberfläche beträgt 1,5 m<sup>2</sup>, die Tiefe der Probenahme etwa 30-50 cm. Das Gerät eignet sich besonders für harte Böden (Kies/Sand).

#### *b) Hamon-Schöpfer*

Kurzbeschreibung:

Der Hamon-Schöpfer ist ein Probenahmegerät mit einem Gewicht von je nach Ausführung etwa 120 oder 350 kg. Der Greifer verfügt über ein Fassvolumen von 40 Litern.

Das Gerät besteht aus einem Rahmen, an welchem eine drehbare Schaufel befestigt ist. Der Greifer muss zusammen mit einer Auffangkonstruktion, welche zum Abstellen und Leeren des Greifers dient, eingesetzt werden. Das Gerät eignet sich für härtere Böden (Sand/Kies).

Zur Probenahme wird der Schöpfer mit der Öffnung nach unten verriegelt. Beim Absenken entriegelt sich der Schöpfer wiederum. Eine Hebelkonstruktion hebt den Schöpfer beim Anheben etwa 30 cm über den Boden. Der Bewegungsablauf endet, wenn die Öffnung des Schöpfers gegen eine Platte angepresst wird, damit kein Material entweichen kann.

Das Prinzip ist vergleichbar mit dem Einschalen-Schürfgreifer (siehe 3.2.1.1.d).

c) *Van Veen-Greifer* (siehe auch 3.2.1.1.a)

Kurzbeschreibung:

Der Van Veen-Greifer setzt sich aus zwei gegenseitig scharnierenden Schaufeln zusammen, die sich während des Anhebens schliessen.

Man lässt den Greifer geöffnet und verriegelt hinunter. Bei Bodenberührung entriegelt sich das Gerät. Beim Anheben schliessen sich die Greiferschaufeln und schieben Bodenmaterial zusammen und schliessen es ein.

Der van Veen-Greifer steht in verschiedenen Grössen sowohl für Hand- als auch mechanischen Betrieb mittels Winde zur Verfügung. Vor allem die kleineren Modelle werden von Hand bedient.

Aufwand: Geringe Anschaffungskosten  
Erfahrungsdauer: ca: 20 Jahre  
Vorteile/Nachteile: Es kann vorkommen, dass der Greifer nicht schliesst, da zwischen seinen Schaufeln Kies eingeklemmt ist. Folglich wird das Feinmaterial beim Anheben ausgespült. Mit dem Van Veen-Greifer wird gestörtes Bodenmaterial gesammelt. Das Gerät eignet sich für Sand- bzw. Schlickböden.



Fig. 53 *Van Veen-Greifer*

*d) Ekman-Greifer*

Kurzbeschreibung:

Der Ekman-Greifer ist ein oben und unten mit Klappen ausgerüsteter Behälter mit Abmessungen von 15x15x21 cm. Die oberen Klappen schliessen sich durch ihr Eigengewicht, während die unteren durch einen Federmechanismus gesteuert werden. Der Ekman-Greifer kann mit der Hand von einem Mann oder mit einem Kran bedient werden.

Man lässt den Ekman-Greifer mit offenen unteren, jedoch verriegelten Klappen, hinunter. Die oberen Klappen werden durch die Wasserströmung, die durch das Gerät fließt, geöffnet. Ein Senkblei entriegelt die unteren Klappen. Ein Federmechanismus schliesst diese wiederum.

Aufwand: Geringe Anschaffungskosten

Vorteile/Nachteile: Mit dem Ekman-Greifer können relativ ungestörte Probenahmen in weichen Böden durchgeführt werden. Das Gerät eignet sich jedoch nicht für harte Böden. Auch hier kann es vorkommen, dass der Greifer nicht schliesst, wenn zwischen seinen Schaufeln Kies klemmt. Folglich wird Feinmaterial beim Anheben ausgespült.

e) *Jenkins Mudsampler*

Kurzbeschreibung:

Das Jenkins Probenahmegerät für Schlamm besteht aus einem Metallstativ, an dem ein Perspex-Probenahmerohr hängt. Das Probenahmerohr wird an beiden Seiten von Klappen verschlossen. Das Gerät eignet sich nur zur Probenahme von Oberschichten sehr weicher Böden und ist besonders im Hinblick auf die Benützung im IJsselmeer entwickelt worden. Es kann von Hand bedient werden. Dabei lässt man das Gerät mit offenen Klappen hinunter. Durch sein Eigengewicht dringt das Rohr in den Grund ein. Bei ausreichendem Fieren des Hebekabels tritt ein gedämpfter Federmechanismus in Wirkung, der das Rohr mit Klappen verschliesst.

Es können ungestörte Probenahmen durchgeführt werden.



*Fig. 54 Jenkins Mudsampler*



Fig. 55 Schürfkübel

*f) Schürfkübel*

Kurzbeschreibung:

Ein schwerer Eimer mit schrägen Wänden wird über den Boden geschleppt, wobei das Bodenmaterial eingefangen wird.

Der Schürfkübel wird von einem Fahrzeug mit der Hand heruntergelassen.

Vorteile/Nachteile: Der Schürfkübel ist ein sehr einfach zu benutzendes und preiswertes Probenahmegerät. Mittels dem Schürfkübel erhält man jedoch nur einen Eindruck des örtlichen Bodenmaterials.

**B. GERÄTE FÜR DIE ENTNAHME VON BODENoberflächenproben BZW. NICHT OBERFLÄCHENNAHEN BODENPROBEN AUS DER SOHLE**

Folgende Geräte werden auf den niederländischen Rheinzuweigen benutzt:

- Vibrocorer (in Flüssen, Buhnenfeldern, Sandgewinnungsgruben)
- Boxcorer (in Flüssen, Buhnenfeldern, Sandgewinnungsgruben)
- Saugbohrer (in Buhnenfeldern in sehr niedrigem Wasser)
- Fallbombe (im Deltagebiet, Kiesgruben, für Erkundungsuntersuchungen)
- Beekersampler (Häfen, Aussendeichsländer).

Von diesen Geräten wird nur der Vibrocorer auf breiter Basis angewendet. Die anderen Geräte werden nur gelegentlich benutzt.

a) Vibrocorer



Fig. 56 Vibrocorer

Kurzbeschreibung:

Der Vibrocorer besteht aus einem Rahmen, in dem ein Drillkopf mit einem Stechrohr aus Metall mit einem Innenrohr aus PVC hängt. Ein Kran setzt den Vibrocorer auf den Boden. Das Eigengewicht und der Drillkopf treiben das Stechrohr in den Boden. Ein im PVC-Saugrohr eingebrachter Sauger sorgt während des Stechens für Unterdruck, wodurch das Sediment in das Rohr hineingesogen wird. Ein Bohrkern-Halter an der Unterseite des Rohres sorgt dafür, dass die Probe nicht aus dem Stechrohr gleitet. Nach dem Anheben wird das Stechrohr aus Metall entkoppelt, worauf das PVC-Rohr mit dem Sediment herausgenommen werden kann. Mit einem speziellen Schneidewerkzeug kann das PVC-Rohr anschliessend der Länge nach durchgeschnitten werden, wodurch die Probe freikommt.

Auf diese Weise können Beschaffenheit und Schichtung von Wasserböden recht exakt untersucht werden.

- Aufwand: Die Probenahmemethode ist relativ personal- und geräteintensiv. Man braucht ein Fahrzeug mit einem grossen Arbeitsdeck und einem schweren Kran (>1000kg). Die Anschaffungskosten des Gerätes sind hoch (etwa 80.000 DM).
- Vorteile/Nachteile: Die Bodenprobe kann je nach Bodenart und Gerätetyp bis zu vier Meter lang sein. Die Oberschicht des Bodens kann jedoch durch das unsanfte Aufprallen des Vibrocorers zerstört werden. Das Gerät ist für weiche Böden sowie für die Benutzung in schnell fliessendem Wasser (>1.2 m/s) ungeeignet.

b) *Boxcorer*



Fig. 57 *Boxcorer*

Kurzbeschreibung:

Der Boxcorer besteht aus einer Rahmenkonstruktion mit einem grossen 30 cm Stechrohr für Probenahmen bis 60 cm Bodentiefe.

Das Eigengewicht treibt das Stechrohr in den Boden. Beim Anheben wird die Unterseite des Rohres durch Hebelwirkung mit einer Scheibe verriegelt.

Der Boxcorer wird mit einem Kran bedient. Der Kran setzt den geöffneten Boxcorer auf den Boden. Die Box dringt in den Boden ein und ein Verschlussmechanismus wird entriegelt. Beim Anheben wird die Box mit einer Klappe verschlossen. Die Box kann zur Bearbeitung des Sediments aus dem Rahmen genommen werden.

Aufwand: Die Anschaffungskosten sind hoch (etwa 40.000 DM). Für die Probenahme braucht man ein Schiff mit einem grossen Arbeitsdeck.  
Vorteile/Nachteile: Bis 60 cm kann eine ziemlich exakte und ungestörte Probe entnommen werden. Das Gerät eignet sich wegen seines Gewichtes nicht so sehr für weiche Böden.

c) Saugbohrer



Fig. 58 Saugbohrer

Kurzbeschreibung:

Der Saugbohrer ist ein mit Verlängerungsstangen in den Boden getriebenes Stechrohr aus rostfreiem Stahl oder Kunststoff. Ein Sauger im Stechrohr sorgt für Unterdruck, wodurch die Probe ins Rohr gelangt. Längen und Querschnitte des Saugbohrers variieren nach Bedarf.

Der Saugbohrer wird mit dem Sauger im niedrigsten Stand durch Verlängerungsstangen bis nahe über den Boden geführt. Das Stechrohr wird in den Boden getrieben, während der Sauger gleichzeitig nahe über die Bodenoberfläche gehalten wird. Wenn die gewünschte Tiefe erreicht ist, werden das Stechrohr und der Sauger angehoben.

Mit dem Sauger kann die Probe aus dem Stechrohr gedrückt werden.

Das Gerät wird vom Kai oder einem gut verankerten Fahrzeug aus bedient.

Der Saugbohrer eignet sich zur Probenahme von festem Schlick oder Sand.

**Vorteile/Nachteile:** Da der Saugbohrer unten nicht verschlossen ist, läuft beim Anheben Sediment aus dem Stechrohr. Da mit Verlängerungsstangen gearbeitet wird, ist der Einsatz bei Wassertiefen  $> 3$  m nicht möglich. Durch Bewegung des Saugbohrers kann beim Hineintreiben in weiche Böden die Oberschicht zerstört werden. Die Probe wird durch das Eindringen des Saugbohrers in das Sediment und das Auspressen der Probe ziemlich zusammengedrückt.

#### *d) Senkbaum*

**Kurzbeschreibung:**

Beim Senkbaum handelt es sich um ein Probenahmerohr in einer beschwerten Probenahmehalterung. Der Senkbaum wird im freien Fall in das Sediment abgesenkt und direkt wieder angehoben. Mit einer Saugheberpumpe wird das stehende Wasser abgesaugt. Beim Anheben schliesst ein Gummiball die Oberseite der Rohres ab, wobei durch Vakuumwirkung die Probe im Rohr bleibt. Durch das Anheben des Gummiballs gleitet die Probe wiederum aus dem Stechrohr. Es gibt mehrere Typen mit unterschiedlichen Längen (bis 2 m), Stechrohrdurchmessern und Gewicht.

Der Senkbaum eignet sich für weiche Wasserböden (Schlick/Sand-Schlick) in tieferem Wasser, jedoch nicht für unkonsolidierten Schlick.

**Vorteile/Nachteile:** Ausser bei unkonsolidierten Schlickböden ist die Störung der Proben gering. Die Proben können fallweise jedoch ziemlich zusammengepresst sein.



*Fig 59 Senkbaum*

### e) Beekersampler

Kurzbeschreibung:

Der Beekersampler ist ein Schneidekopf, an dem ein transparentes Probenahmerohr befestigt ist, das über Verlängerungsstangen oder eine Rahmenkonstruktion in den Boden hineingetrieben wird. Ein Sauger sorgt im Stechrohr für Unterdruck, damit die Probe leichter in das Stechrohr hineingleitet. Mit einem Gummibalg im Schneidekopf kann die untere Seite des Probenahmerohres abgeschlossen werden. Die maximale Stechlänge beträgt etwa 1,5 m.

Der Beekersampler wird mit Verlängerungsstangen in den Boden getrieben, oder wenn mit Rahmen gearbeitet wird, durch Beschweren. Der Sauger wird nahe über den Boden gehalten. In der gewünschten Probenahmetiefe wird der Balg im Schneidekopf aufgeblasen und das Stechrohr angehoben. Das Probenahmerohr wird losgekoppelt. Mit einem Auspresssystem kann die Probe aus dem Rohr geschoben werden. Bedienung vom Kai oder einem Fahrzeug aus. Bei der Benutzung eines Rahmens soll von einem gut verankerten Fahrzeug aus gearbeitet werden.

Vorteile/Nachteile: Durch die Verwendung eines Saugers und einer Rahmenkonstruktion kann eine praktisch ungestörte Probe genommen werden. Die Probe kann jedoch ziemlich zusammengepresst sein. Der Beekersampler eignet sich für Schlickwasserböden, also generell für weiche bis konsolidierte Böden. Mit dem Beekersampler im Rahmen können auch tiefere Gewässer untersucht werden. Er ist hingegen nicht in schnell fließendem Wasser zu benutzen.



Fig. 60 Beekersampler

#### 4.3.2 Schwebstofffassung

Erfassung von Schwebstoff geschieht mittels der in 3.3.1.2. e oder f beschriebenen Geräte und mittels Probenahme.

## 5. PEILUNGEN

### 5.1 IN DER SCHWEIZ ANGEWENDETE METHODEN

#### a) Echolotvermessung mit 'COMBIGRAF'

Der COMBIGRAF ist ein Vermessungsechograp mit dazugehörendem Distanzmesser der Firma Dr. Fahrentholz in Kiel BRD. Der Combigraf ist auf dem Vermessungsschiff "Echo-8" einer privaten Firma installiert.

Kurzbeschreibung:

Reichweite der Tiefenlotung bis 500 m, der Distanzmessung bis 4000 m. Pro Sekunde werden 4.4 resp. 2.2 Lotungen (je nach Aufzeichnungsmassstab 1:100 resp. 1:200) mit 15 und 100 kHz gemacht. Das Gerät ist von den Schwingern her derart konzipiert, dass der Hangneigungsfehler sehr klein gehalten wird. Dadurch ist es möglich, Steilhänge bis in grosse Tiefen sehr gut zu erfassen, was für die Verhältnisse in Schweizerseen von grosser Bedeutung ist.

Die Aufzeichnung der Tiefenlotung erfolgt auf einem 65 cm breiten Registrierpapier. Dies ermöglicht es, in Tiefenstufen von 56 cm zu arbeiten, wobei diese Bereiche entweder durch manuelles Umschalten der Nulllinie oder aber durch automatisches Kippen der Aufzeichnung angesprochen werden. Letzteres erlaubt dem Operateur, sich während der Messung nicht auf das rechtzeitige Umschalten konzentrieren zu müssen. Für Messungen fährt das Schiff auf vorgegebenen Achsen. Ein Mann an Land gibt dem Schiffsführer über Funk die dazu nötigen Informationen.

Mit dem Infrarotlaser werden vom Schiff aus Distanzen zu einem sich an Land befindenden Reflektor gemessen. Die Resultate dieser Messungen werden zusammen mit der Uhrzeit automatisch ins Echogramm geschrieben.

Die Eichung des Echolotes wird mittels eines Drahtlotes vorgenommen. Über ein Zählwerk wird eine tellerförmige Platte auf Grund gelassen. Durch Vergleich dieser Drahtlotung mit der gleichzeitigen Echolotung kann der momentane Aufzeichnungsmassstab des Echolotes festgestellt werden. Die Zuverlässigkeit der Eichung hängt im wesentlichen von der Zuverlässigkeit der Drahtlotung ab.

Genauigkeit: Der Infrarot Distanzmesser ist mit einem absoluten Fehler von 20 cm behaftet. Dies genügt für Gewässervermessungen. Die Echolotung hat in den ersten 20 m Wassertiefe einen Fehler von ca. 5 cm, darunter bis gegen 50 m ca. 10 cm, bei noch grösserer Tiefe kann keine derartige quantitative Aussage gemacht werden, da meistens keine genügend genaue Vergleichsmessung gemacht werden kann.

Erfahrungsdauer: Seit 1985 regelmässig eingesetzt.

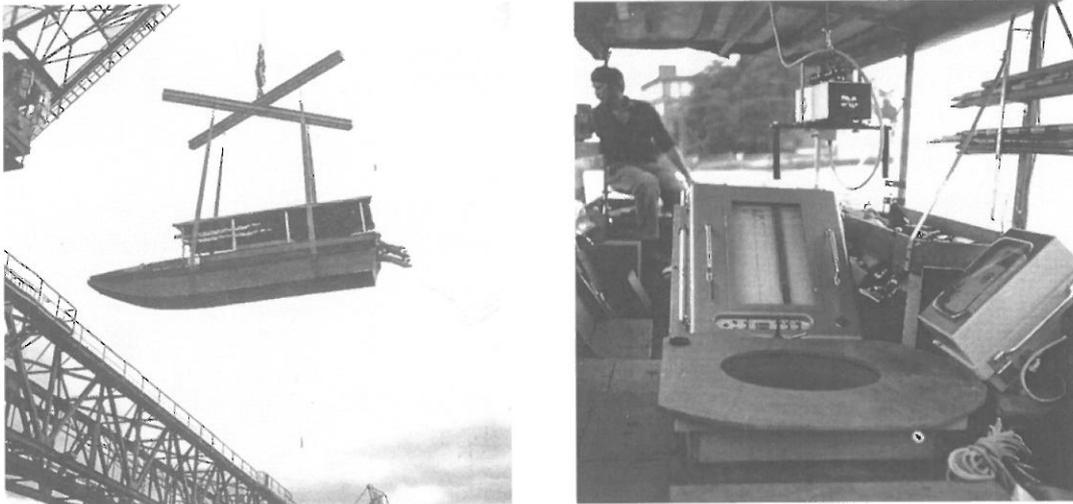


Fig. 61 Schiff 'Echo-8' mit zugehöriger Messeinrichtung

*b) Bathymetrische Vermessungsanlage der Freiburgischen Elektrizitätswerke*

**Kurzbeschreibung:**

Auf dem mit einem satellitengesteuerten Positionsverfahren (GPS) ausgerüsteten Motorboot befindet sich ein Sonar und eine Computerstation. Je nach Aufgabe können Seegrundvermessungen innerhalb weniger Tage ausgeführt werden. Die Anlage wird von den Freiburgischen Elektrizitätswerken betrieben und ist bisher auf verschiedenen kleineren Schweizerseen eingesetzt worden.

**Genauigkeit:** Die Positionierung des Schiffes wird auf ca. 0.5 Meter genau angegeben. Für die Seegrundaufnahmen betragen die Abweichungen je nach Wassertiefe um ca. 1 cm bei etwa 50 m bis vielleicht etwa 10 cm in tieferen Bereichen.

**Vorteile/Nachteile:** In kurzer Zeit sind detaillierte Seegrundaufnahmen und damit Volumenänderungen z. B. in Stauseen erfassbar. Allerdings müssen die Messkampagnen präzise vorausgeplant werden (z. B. Transport des Schiffes mit der Anlage). Die gesamte Anlage ist schwerfällig und kann nur mit dem entsprechenden Personal bedient werden.

**Aufwand:** Anschaffungskosten sind hoch. Der Aufwand für die Messungen ist bei Berücksichtigung aller Fakten beträchtlich, angesichts der Aufgaben jedoch vertretbar.

**Erfahrungsdauer:** Die Anlage wird seit 1992 eingesetzt.

**5.2 IN DEUTSCHLAND ANGEWENDETE METHODEN**

*Peilungen*

Das Verfahren ist unter 3.2.2.g beschrieben.

In einem umfangreichen Untersuchungsprogramm wurden von 1980 bis 1987 von einer Arbeitsgruppe der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Verbesserungen des Peilwesens erarbeitet. Neben Änderungen in der Verfahrensweise führten auch Optimierungen in der Gerätetechnik zu höherer Peilgenauigkeit.

### *GLW-Veränderung*

Durch regelmässige jährliche Feststellung des "gleichwertigen Wasserstandes" GLW, das ist derjenige Wasserstand, der an 20 eisfreien Tagen eines Jahres erreicht oder unterschritten wird, erhält man Kenntnisse über die Veränderung des Wasserspiegels. Man stellt fest, ob die Gewässersohle unverändert blieb oder Erosion bzw. Auflandung eingetreten ist.

Über die an allen Hektometersteinen vorhandenen Höhenfestpunkte wird vom Personal der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung möglichst zeitgleich der Wasserspiegel eingemessen.

Die erhaltenen Daten werden mittels Datenverarbeitung als Wasserspiegellinie dargestellt und mit den Werten früherer Jahre verglichen.

### **5.3 IN DEN NIEDERLANDEN ANGEWENDETE METHODEN**

Peilungen werden von einem mit einem Echolot Deso 25 versehenen Vermessungsschiff durchgeführt. Die Ortsbestimmung erfolgt mittels:

- Polartrack; ein Lasersystem, mit welchem die Distanzmessung von einem festen, bekannten Punkt aus erfolgt, womit Winkel und Abstand bestimmt werden.
- Micro-fix; mit zwei Uferstationen, an bekannten Stellen aufgestellt, wird der Abstand zum Vermessungsschiff bestimmt.

Die Steuerung und Verarbeitung der Peilung und Aufnahmen geschieht mit Hilfe des im Auftrag von Rijkswaterstaat angefertigten Systems RWSLOD.

Verfahren:

Ein zu peilendes Gebiet wird ins Bild gebracht und auf Magnetband festgelegt. Dieses enthält die Querschnittlinien, an denen entlang gefahren werden soll, sowie die Aufstellungspunkte für das Ortsbestimmungssystem. Die Peilung wird mit dem Vermessungsschiff durchgeführt. Sie erfolgt automatisch und wird auf die im voraus auf Disc festgelegten Daten des aufzunehmenden Gebietes gesteuert. Die Messdaten werden auf Band festgelegt und später automatisch verarbeitet.

- Genauigkeit: Die Tiefepeilungen mit Echolot sind ca. 1 dm genau. Das Ortsbestimmungssystem Polartrack weist eine Genauigkeit von 1 Meter auf, das Micro-fix eine solche von bis zu 2 Metern.
- Aufwand: Für die Peilungen wird ein Vermessungsschiff mit 3 Personen sowie eine weitere Person am Ufer für das Aufsetzen und Versorgen des Ortsbestimmungssystems benötigt. Ein System für Ortsbestimmung, Aufnahme und Verarbeitung kostet etwa 450.000,- DM.



## 6. ERFASSUNG DER PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DER FESTSTOFFE

### 6.1 IN DER SCHWEIZ ANGEWENDETE METHODEN

#### 6.1.1 Korngrößenverteilung

##### 6.1.1.1 Geschiebe in Gebirgsbächen/-flüssen

Die Kenntnis der Korngrößenverteilung ist für viele Fragestellungen, insbesondere für Berechnungen des Transportvermögens einer Flussstrecke von Bedeutung. Oft ist das abgelagerte Geschiebe bezüglich Kornverteilung mit dem Sohlenmaterial der Oberwasserstrecke nur bedingt identisch, da wegen der Sohlenabpflasterung und generellen Entmischungserscheinungen die gröberen Komponenten in der Sohle stärker, in den Ablagerungen weniger stark vertreten sind.

Zur Erfassung der gröberen Komponenten (Deckschicht) werden

- Linien- und
- Flächenproben durchgeführt.

Volumenproben dienen vor allem zur Erhebung des Unterschichtmaterials. Daraus kann dann die Kornverteilung bis zu Komponenten von 100 mm Grösse und eventuell darüber durch Siebung bestimmt werden.

##### a) *Linienprobe*

Kurzbeschreibung:

Da die Geschiebeablagerungen häufig sehr heterogen aufgebaut sind, sich während des Ablagerungsvorganges das Material oft entmischt, ist es schwierig, eine repräsentative Materialprobe für die Bestimmung der Kornverteilung zu finden. Man kann deshalb nicht irgendwo eine Materialprobe für die Analyse entnehmen. Es muss vielmehr eine mittlere Mischung erfasst werden. Ein Seil wird über die zu beprobende Strecke gespannt und die darunter liegenden Körner an der b-Achse gemessen. Die einzelnen Komponenten werden anschliessend einer Grössenklasse zugeteilt, worauf die Kornverteilung zu ersehen ist.

**Aufwand:** Der Arbeitsaufwand richtet sich nach Anzahl der Proben. Für eine Probe benötigen 2 Personen bis ca. 1 Stunde.

**Genauigkeit:** Für eine einzelne Probe mässig, deshalb sollten immer mehrere Proben durchgeführt werden (Erhöhung der Repräsentativität).

**Vorteile/Nachteile:** Es ist kein grösseres Instrumentarium notwendig. Die Resultate sind rasch ersichtlich. Die Genauigkeit ist jedoch stark von der Repräsentativität der einzelnen Proben abhängig.

##### b) *Flächenprobe*

Kurzbeschreibung:

Probenahme prinzipiell wie bei der Linienprobe, nur dass die Komponenten aus einer definierten Fläche entnommen werden.

Bezüglich Aufwand, Genauigkeit und Vor- und Nachteilen gilt ähnliches wie bei der Linienprobe.

### c) Volumenprobe

#### Kurzbeschreibung:

Die Grobkomponenten grösser als 6.0 cm Durchmesser werden ausgemessen und deren Gewichtsanteil an der gesamten Geschiebeprobe bestimmt. Die feineren Fraktionen werden gesiebt. Die Komponenten Feinsand und feiner ( $<0.02$  cm) sind nicht mehr weiter aufzugliedern. Für die Siebungen wird in der Regel ein Quadratloch-Normsiefsatz verwendet.

Das Sieben der Feinkiesfraktion und feiner hat am getrockneten Material zu erfolgen. Um eine repräsentative Kornverteilung zu erhalten, benötigt man ein Volumen der Materialprobe, das ein Vielfaches so gross ist wie das Volumen des Maximalkorns.

- Genauigkeit: Für die eigentliche Messung genügend, sofern das Probematerial über Wasser entnommen werden kann.
- Aufwand: Relativ gross, vor allem wenn eine gute örtliche Repräsentativität gesucht wird. Oft müssen die Auswahlverfahren den örtlichen Verhältnissen angepasst werden. Sehr grobkörniges Material bedingt ein entsprechend grösseres Probevolumen.
- Vorteile/Nachteile: Die Interpretation ist bei sehr heterogenen Materialien eventuell problematisch, sonst im allgemeinen gut möglich. Die verschiedenen Methoden sind zum Teil schwer untereinander vergleichbar. Für das Bachbettmaterial und die Übermürungen kommen eher nur Schätzmethode, resp. wenig aufwendige Oberflächenanalysenmethoden in Frage. Das Problem liegt weniger in der Methode als in der Auswahl des richtigen Standortes, Zeitpunktes und "Probevolumens" (Entmischung).

#### 6.1.1.2 Schwebstoffe

Für Korngrössenanalysen werden verschiedene Geräte eingesetzt: Atterberg, Pipette, Sedigraph, Coulter Counter und Laser.

Atterberg und Pipette sind herkömmliche manuelle Geräte. Bei Sedigraph, Coulter Counter und Lasergeräten handelt es sich um elektronische Messgeräte. Mit Atterberg und Pipette sowie dem Sedigraph wird das Korngrössenspektrum nach dem Einwiegen der Probe nach klassischer Weise aufgrund der Fallgeschwindigkeit bestimmt. Coulter Counter und Laser sind eigentliche Partikelmessgeräte. Der Unterschied zwischen beiden letzteren liegt darin, dass Lasergeräte im Prinzip die Grösse resp. den Durchmesser jedes einzelnen Kornes registrieren, der Coulter Counter hingegen indirekt den elektrischen Spannungsabfall bei jedem Korn misst.

- Genauigkeit: Für Atterberg und Pipette gut, für Sedigraph, Coulter Counter und Laser sehr gut.
- Aufwand: Für Atterberg und Pipette relativ hoch, für die elektronischen Messgeräte gering.
- Vorteile/Nachteile: Coulter Counter und Laser eignen sich für sehr kleine Proben, Sedigraph für solche mittlerer Grösse ( $> 0.5$  Gramm), Atterberg und Pipette können nur für grössere Mengen Schwebstoffproben verwendet werden ( $> 5$  Gramm). Mit den elektronischen Geräten können zudem bis ca. 30 Proben pro Tag verarbeitet werden. Die Analyseergebnisse von Atterberg, Pipette und Sedigraph sind allerdings nicht mit den Resultaten von Coulter Counter und Lasergeräten vergleichbar.
- Erfahrungsdauer: Atterberg und Pipette werden seit langer Zeit verwendet. Sedigraphgeräte werden seit über 10 Jahren, Coulter Counter seit ca. 10 Jahren, Lasergeräte seit ca. 7 Jahren für die elektronisch gesteuerte Korngrössenanalyse verwendet.

### 6.1.2 Kornform

Die Kornform und Kornoberfläche wird mittels Rasterelektronenmikroskop bestimmt. Zusätzlich lassen sich mit EDS (Energy Dispersive System) semiquantitative chemische Analysen der Partikel durchführen.

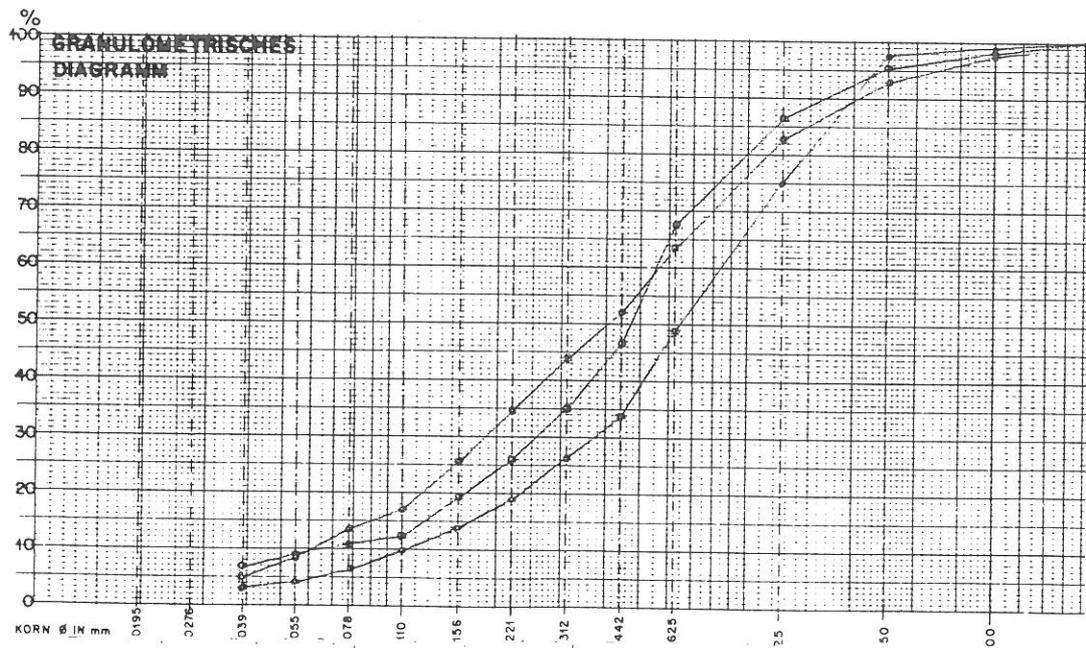


Fig. 62 Kornverteilung des Schwebmaterials verschiedener Fließgewässer in der Schweiz

### 6.1.3 Petrographie: Mineralogische Zusammensetzung der Schwebstoffe

#### Röntgenanalysen

Wie Röntgenanalysen an 19 Stationen zeigen, bestehen die Schwebstoffe meistens aus fünf Mineralgruppen:

Quarz	(20 – 30 %) ist überall gleichmässig vertreten.
Feldspat	(6 – 28 %) trifft man zwei- bis dreimal häufiger in Flüssen mit kristallinem Einzugsgebiet.
Karbonat	(0 – 45 %) ist überall vorhanden, etwas weniger in den Alpen, dafür häufiger im Mittelland.
Glimmer	(30 – 50 %) ist überall vorhanden, etwas weniger in den Alpen, dafür häufiger im Mittelland.
Tonminerale	Kaolinit und Mixedlayer (Montmorillonit etc.) kennzeichnen die Molasse im Einzugsgebiet.

## 6.1.4 Dichte/Raumgewicht

### 6.1.4.1 Geschiebe

Kurzbeschreibung:

Für viele hydraulische Fragestellungen ist das Raumgewicht eine wichtige Umrechnungsgrösse. Es handelt sich um das Raumgewicht der (ungestörten) Geschiebeablagerung. Dabei können einzelne Proben gewogen oder mittels Lastwagenwägung vorgenommen werden. Hierbei muss jedoch der Wasseranteil am Gesamtgewicht bekannt sein. Hierfür wird eine Materialprobe aus Mittel- bis Feinstkorn benötigt.

Anhand der Kornverteilungskurve (Kenntnis des Anteils Grobmaterial) kann der gemessene Wassergehalt auf die Gesamtprobe umgerechnet werden. Unter Umständen lässt sich auch der Wassergehalt mit einer Neutronenprobe messen.

Aufwand: Gross  
Genauigkeit: Mässig bis genügend  
Vorteile/Nachteile: Wassergehalt und Feststoffgewicht werden nur sporadisch bestimmt (z.B. nur bei Extremereignissen oder nicht häufiger als alle 5 bis 10 Jahre einmal), weil die entsprechenden Erhebungen sehr arbeitsintensiv sind.

### 6.1.4.2 Schwebstoffe

Die Dichte der Schwebstoffe wird mit einem Pyknometer bestimmt.

## 6.2 IN DEUTSCHLAND ANGEWENDETE METHODEN

### 6.2.1 Korngrössenverteilung

Die Ermittlung der Korngrössenverteilung erfolgt mittels der Trocken- oder Nasssiebung bis in den Feinkornbereich von 20 Mikrometer (Grobschluff).

#### *Laseranalyse*

Kurzbeschreibung:

Feinkörnigere Sedimente sowie Schwebstoffproben werden mit der Lasermethode analysiert.

Eine repräsentativ aufgeteilte Probe von ca. 1 g Trockengewicht wird in einem Dispergiergerät mit Rührer und Ultraschall resuspendiert, durch eine Messzelle gepumpt und mittels Laserstrahl in 31 Fraktionen unterteilt.

Genauigkeit: Ein Vergleich mit anderen Methoden ergab gute Werte.  
Aufwand: Gerätekosten hoch, Analysezeit sehr gering  
Auswertung: Mittels angeschlossener DV-Peripherie.

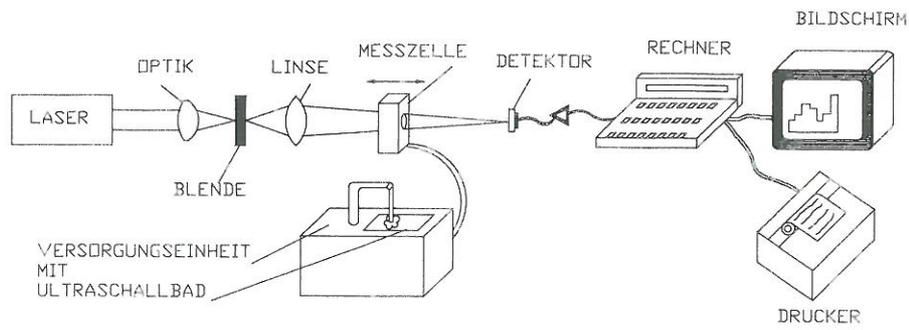


Fig. 63 Laser-Analyser "Fritsch"

### 6.2.2 Kornform

Die Kornform von grossen Einzelpartikeln wird durch manuelle Vermessung in 3 Dimensionen ermittelt.

Für Feinkörnungen steht neuerdings ein Lasergerät mit Video-Mikroskop zur Verfügung, das Kornformermittlungen ermöglicht. Eine Erprobung dieses Gerätes ist in Arbeit.

### 6.2.3 Petrographie – Abrieb / Härte

Der Abrieb von Geschiebematerial wird in einem Rhönrad-Mischer festgestellt. Hierbei können entweder vorher vermessene Einzelkörner nach festen Laufzeiten/Strecken untersucht werden, oder man wiegt den abgeriebenen Feinanteil.

### 6.2.4 Dichte/Raumgewicht

Die Dichte von grossen Einzelkörnern im Stein-/Kiesbereich wird durch die Verdrängung des Wasservolumens gravimetrisch gemessen, für Feinkornproben im Sand-/Schluff-/Tonbereich wird ein manuell betriebenes Pyknometer eingesetzt.

### 6.2.5 Sedimentationsverhalten

Es sind Versuche in verschiedenen hohen Glaszylindern mit unterschiedlichen Sedimenten vorgesehen. Ergebnisse stehen noch aus. Modellrechnungen sind ebenfalls in Arbeit.

## 6.3 IN DEN NIEDERLANDEN ANGEWENDETE METHODEN

### 6.3.1 Korngrössenverteilung

Auf den niederländischen Rheinseiten bestehen die Feststoffe der Fliessgewässer im allgemeinen aus Sand und Schlamm. Direktmessung der Korngrössenverteilung im Flussbett ist nicht möglich. Im Prinzip werden zwei Messmethoden angewendet:

- Messung der Masse der Sedimentprobe
- Messung der Fallgeschwindigkeit der Sedimentprobe.

#### A. MESSUNG DER MASSE DER SEDIMENTPROBE

Für diese Methode wird ein Sieb oder ein Lasergranulomessgerät benutzt.

#### *Malvern-Mastersizer*

Kurzbeschreibung:

Der Malvern kann für die Korngrössenverteilung von Komponenten der Grösse 1 bis 1000 µm benutzt werden. In den Niederlanden wird er beim Rijkswaterstaat hauptsächlich für Schlammdetektion benutzt. Das Prinzip beruht auf der Diffraktion eines Laserbündels in einer Wasserprobe mit suspendierten Teilchen. Damit kann die Korngrössenverteilung festgestellt werden.

Verfahren:

Der Malvern wird mit einer suspendierten Probe gefüllt. Das Gerät wird mit einem Steuerungs- und Verarbeitungsprogramm an einen Computer angeschlossen. Die Analysezeit beträgt etwa 15 Minuten.

Genauigkeit: Die Genauigkeit hängt stark von dem zu untersuchenden Material ab. Für Sand liegen die Abweichungen um die 10 %.

Aufwand: Die Anschaffungskosten sind verhältnismässig hoch, etwa 100.000 DM. Die Bedienung ist sehr einfach.

## B. MESSUNG DER FALLGESCHWINDIGKEIT DER PARTIKEL

Die Fallgeschwindigkeitsmessung beruht auf der Feststellung von Unterschieden in Fallgeschwindigkeit zwischen grösseren und kleineren Teilchen. In den Niederlanden wird diese Methode operationell bei der Verunreinigungsklassifizierung von Bodenschlamm benutzt.

### *Pipette-Methode*

#### Kurzbeschreibung:

Die Wasserprobe befindet sich in einem Fass. Nach bestimmten Ablagerungszeitabschnitten werden mit Hilfe einer Pipette auf verschiedenen Höhen Proben abgesaugt. Diese Proben werden getrocknet und gewogen. Daraus kann eine Korngrößenverteilung abgeleitet werden. Die Analysezeit einer Probe beträgt etwa 90 Minuten.

Genauigkeit:            Im Labor beträgt die Abweichung etwa 10%, im Feld etwa 20%.

### **6.3.2 Bestimmung des spezifischen Trockensedimentgewichtes**

In morphologischen Analysen ist das spezifische Trockengewicht, als trockenes Sedimentgewicht pro Einheit abgelagertem Volumen definiert, ein wichtiger Parameter. Von einer ungestörten, wassergesättigten Bodenprobe, deren Volumen bekannt ist (Coresampler), wird sowohl das Nassgewicht als auch das Trockengewicht (mittels Gefrietrocknen) bestimmt. Aus diesen Daten sind der Porengehalt und das spezifische Trockensedimentgewicht zu bestimmen.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO) (1983): Verzeichnis von in der Schweiz durchgeführten Feststoffbeobachtungen, Delta-, Seegrund- und Querprofilaufnahmen, Bern
- Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO) (1984): Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern. Landeshydrologie und -geologie, Bern
- Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO) (1987): Die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten. Mitt. Nr. 2, Bern
- Delft Hydraulics (1986): Manual sediment transport measurements
- Delft Hydraulics (1991): Bodentransportmetingen op de Grensmaas (B241)
- Dröge, B.; Nicodemus, U.; Schemmer, H. (1992): Anleitung zur Durchführung und Auswertung von Geschiebe- und Schwebstoffmessungen, BfG-0718
- DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft (1986): Schwebstoffmessungen, Heft 125/1986
- DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft (1992): Geschiebemessungen, Heft 127/1992
- Kelts, K.; Briegel, U.; Ghilardi, K. & Hsu, K. (1986): The limnogeology-ETH coring system. Schweiz. Z. Hydrol. 48/1, 104-115
- Officine idrolettriche di Blenio S.A. (1992): Barrage de Luzzone. Rapport des campagnes de mesure mai – juin 1992, Lausanne
- Reinemann, L.; Schemmer, H.; Tippner, M. (1982): Trübungsmessungen zur Bestimmung des Schwebstoffgehalts, DGM 26, H. 6, S. 167-174
- Reinemann, L.; Schemmer, H. (1993): Korngrößenanalyse von Feinsedimenten im Vergleich von Naßsieb- und Lasermethode, DGM 27, H. 1/2, S. 27-30
- Reinemann, L.; Schemmer, H. (1994): Neuartige Schwebstoffsammler zur Gewinnung von Schwebstoffen aus fließenden Gewässern, DGM 38, H.1/2, S. 22-25
- Rijkswaterstaat, dir. Gelderland (1989): Algemene richtlijnen voor de bemonstering van de waterbodem, nota 89.056
- Rijkswaterstaat, RIZA (1990): Sedimenttransportmetingen Rijntakken, nota 90.075



CHR/KHR (1978): Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag/  
Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye. ISBN 90-1201-775-0

**Berichte der KHR****Rapports de la CHR**

- I-1 GREBNER, D. (1982): Objektive quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rheingebiet. Stand 1982 (nicht mehr lieferbar)/  
Prévisions objectives et quantitatives des précipitations dans le bassin du Rhin. Etat de la question en 1982 (édition épuisée)
- I-2 GERHARD, H.; MADE, J.W. VAN DER; REIFF, J.; VREES, L.P.M. DE (1983): Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. (2. Auflage 1985)/  
La sécheresse et les basses eaux de 1976 (2ème édition, 1985). ISBN 90-70980-01-0
- I-3 HOFIUS, K. (1985): Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet/  
Bassins de recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-02-9
- I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J.W. VAN DER; MONTMOLLIN, F. DE; ZETTL, H.; ZUMSTEIN, J.F. (1986): Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet/  
Estimation des probabilités de crues et d'étéiages dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-03-7
- I-5 TEUBER, W.; VERAART, A.J. (1986): Abflußermittlung am Rhein im deutsch-niederländischen Grenzbereich/  
La détermination des débits du Rhin dans la région frontalière germano-hollandaise. ISBN 90-70980-04-5
- I-6 TEUBER, W. (1987): Einfluß der Kalibrierung hydrometrischer Meßflügel auf die Unsicherheit der Abflußermittlung. Ergebnisse eines Ringversuchs/  
Influence de l'étalonnage des moulinets hydrométriques sur l'incertitude des déterminations de débits. Résultats d'une étude comparative. ISBN 90-70980-05-3
- I-7 MENDEL, H.G. (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheineinzugsgebiet/  
Description de modèles de prévision hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-06-1
- I-8 ENGEL, H.; SCHREIBER, H.; SPREAFICO, M.; TEUBER, W.; ZUMSTEIN, J.F. (1990): Abflußermittlung im Rheingebiet im Bereich der Landesgrenzen/  
Détermination des débits dans les régions frontalières du bassin du Rhin. ISBN 90-70980-10-x
- I-9 CHR/KHR (1990): Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet/  
La crue de 1988 dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-11-8
- I-10 NIPPES, K.-R. (1991): Bibliographie des Rheingebietes/  
Bibliographie du bassin du Rhin. ISBN 90-70980-13-4
- I-11 BUCK, W.; FELKEL, K.; GERHARD, H.; KALWEIT, H.; MALDE, J. VAN; NIPPES, K.-R.; PLOEGER, B.; SCHMITZ, W. (1993): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen – Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft/  
Le Rhin sous l'influence de l'homme – Aménagement, navigation, gestion des eaux. ISBN 90-70980-17-7
- I-12 SPREAFICO, M.; MAZIJK, A. VAN (Red.) (1993): Alarmmodell Rhein. Ein Modell für die operationelle Vorhersage des Transportes von Schadstoffen im Rhein. ISBN 90-70980-18-5
- Katalog/Catalogue 1 SPROKKEREEF, E. (1989): Verzeichnis der für internationale Organisationen wichtigen Meßstellen im Rheingebiet/  
Tableau de stations de mesure importantes pour les organismes internationaux dans le bassin du Rhin. ISBN 90-70980-08-8

- II-1 MADE, J.W. VAN DER (1982): Quantitative Analyse der Abflüsse (nicht mehr lieferbar)/  
Analyse quantitative des débits (édition épuisée)
- II-2 GRIFFIOEN, P.S. (1989): Alarmmodell für den Rhein/  
Modèle d'alerte pour le Rhin. ISBN 90-70980-07-x
- II-3 SCHRÖDER, U. (1990): Die Hochwasser an Rhein und Mosel im April und Mai 1983/  
Les crues sur les bassins du Rhin et de la Moselle en avril et mai 1983. ISBN 90-70980-09-6
- II-4 MAZIJK, A. VAN; VERWOERDT, P.; MIERLO, J. VAN; BREMICKER, M.; WIESNER, H.  
(1991): Rheinalarmmodell Version 2.0 – Kalibrierung und Verifikation/  
Modèle d'alerte pour le Rhin version 2.0 – Calibration et vérification. ISBN 90-70980-12-6
- II-5 MADE, J.W. VAN DER (1991): Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer  
Meßnetze/  
Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet d'un réseau hydrométrique.  
ISBN 90-70980-14-2
- II-6 CHR/KHR (1992): Contributions to the European workshop Ecological Rehabilitation of  
Floodplains, Arnhem, The Netherlands, 22-24 September 1992. ISBN 90-70980-15-0
- II-7 NEMEC, J. (1993): Comparison and selection of existing hydrological models for the simulati-  
on of the dynamic water balance processes in basins of different sizes and on different scales.  
ISBN 90-70980-16-9
- II-8 MENDEL, H.G. (1993): Verteilungsfunktionen in der Hydrologie. ISBN 90-70980-19-3
- II-9 WITTE, W.; KRAHE, P.; LIEBSCHER, H.-J. (1995): Rekonstruktion der Witterungsverhält-  
nisse im Mittelrheingebiet von 1000 n.Chr. bis heute anhand historischer hydrologischer Ereignis-  
se. ISBN 90-70980-20-7
- II-10 WILDENHAHN, E.; KLAHOLZ, U. (1996): Große Speicherseen im Einzugsgebiet des  
Rheins. ISBN 90-70980-21-5
- II-11 SPREAFICO, M.; LEHMANN, C.; SCHEMMER, H.; BURGDORFFER, M.; KOS, T. L.  
(1996): Feststoffbeobachtung im Rhein, Beschreibung der Messgeräte und Messmethoden.  
ISBN 90-70980-22-3

Einige Informationen über die:

## **INTERNATIONALE KOMMISSION FÜR DIE HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETES (KHR)**

### **Gründung**

1970 Im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) der UNESCO.

1975 Fortsetzung der Arbeiten im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms (IHP) der UNESCO und des Operationellen Hydrologie-Programms (OHP) der WMO.

1978 Unterstützung der Arbeiten der Kommission durch Austausch einer Verbal-Note zwischen den mitarbeitenden Ländern.

### **Aufgaben**

- Förderung der Zusammenarbeit hydrologischer Institutionen und Dienste im Einzugsgebiet des Rheins.
- Durchführung von Untersuchungen über die Hydrologie des Rheingebietes und Austausch der Ergebnisse diesbezüglicher Studien.
- Förderung des Austausches von hydrologischen Daten und Informationen im Rheingebiet (z.B. aktuelle Daten, Vorhersagen).
- Entwicklung von standardisierten Verfahren für die Sammlung und Bearbeitung hydrologischer Daten in den Rheinanliegerstaaten.

### **Mitarbeitende Länder**

Schweiz, Österreich, Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande

### **Arbeitsprachen**

Deutsch und Französisch

### **Organisation**

Ständige Vertreter (Sitzungen 2mal pro Jahr) unterstützt von einem ständigen Sekretariat. Die Bearbeitung von Projekten wird von Rapporturen und internationalen Arbeitsgruppen durchgeführt.

Quelques informations sur la:

## **COMMISSION INTERNATIONALE DE L'HYDROLOGIE DU BASSIN DU RHIN (CHR)**

### **Institution**

1970 Dans le cadre de la Décennie Hydrologique Internationale (DHI) de l'UNESCO.

1975 Poursuite des travaux dans le cadre du Programme Hydrologique International (PHI) de l'UNESCO et du Programme d'Hydrologie Opérationnelle (PHO) de l'OMM.

1978 Appui des travaux de la Commission par l'échange d'une note verbale entre les pays concernés.

### **Tâches**

- Encourager la coopération entre les instituts et les services actifs dans le bassin du Rhin.
- Réalisation d'études hydrologiques dans le bassin du Rhin et échange de résultats des études concernées.
- Encourager l'échange de données et d'informations hydrologiques dans le bassin du Rhin (p.ex. données actuelles, prévisions).
- Elaboration de méthodes standardisées pour la collecte et le traitement des données hydrologiques dans les Etats riverains du Rhin.

### **Pays participants**

la Suisse, l'Autriche, la République Fédérale d'Allemagne, la France, le Luxembourg, les Pays-Bas

### **Langues de travail**

allemand et français

### **Organisation**

Les représentants permanents (réunions deux fois par an) sont soutenus par le secrétariat permanent. Les études sont réalisées par des rapporteurs et des groupes de travail internationaux.

## **Auswahl der laufenden Arbeiten**

### *Änderungen im Abflußregime*

- Beschreibung des Einflusses der menschlichen Aktivitäten auf die Rheinabflüsse.
- Bestimmung der Auswirkungen von Bodennutzungs- und Klimaänderungen auf das Abflußregime des Rheins.
- Untersuchungen über Auswirkungen des Waldes auf den Wasserhaushalt.

### *Fließzeiten*

- Ermitteln von Fließzeiten und Stofftransport im Rhein zur Verbesserung des Rheinalarmmodells (in Zusammenarbeit mit der IKSR).

### *Sediment*

- Verbesserung und Standardisierung der Verfahren zur Messung von Schwebstoffgehalten und Bodentransport des Sediments.
- Beschreibung des Sedimenthaushaltes im Fluß.

### *Fortschreibung der Monographie*

- Übersicht hydrologischer Daten über die Perioden 1971-1980 und 1981-1990 als Fortsetzung der im Jahre 1978 veröffentlichten Monographie »Das Rheingebiet«.

## **Fertiggestellte Arbeiten**

siehe Publikationsliste, Seite 100.

## **Principaux thèmes en cours**

### *Changements dans le régime des débits*

- Description de l'impact des activités humaines sur le débit du Rhin.
- Détermination des effets des changements du climat et de l'utilisation du sol sur le régime des débits du Rhin.
- Etude de l'influence du forêt sur l'hydrologie.

### *Temps d'écoulement*

- Détermination des temps d'écoulement et de transport des substances dans le Rhin pour l'amélioration du modèle d'alerte du Rhin (en collaboration avec la CIPR).

### *Sédiments*

- Amélioration et standardisation des méthodes pour la mesure des matières en suspension et du charriage de fond.
- Description de la situation de la sédimentation dans le fleuve.

### *Actualisation de la Monographie*

- Données hydrologiques sur les périodes 1971-1980 et 1981-1990 complétant celles de la monographie hydrologique «le Bassin du Rhin» publiée en 1978.

## **Travaux effectués**

voir la liste de publications, page 100.

Some information on the:

## **INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE HYDROLOGY OF THE RHINE BASIN (CHR)**

### **Foundation**

1970 Within the framework of UNESCO's International Hydrological Decade (IHD).

1975 Continuation of activities within the framework of UNESCO's International Hydrological Programme (IHP) and the Operational Hydrology Programme (OHP) of WMO.

1978 Support of the Commission's activities by exchange of a verbal note between the participating countries.

### **Tasks**

- Support of co-operation between hydrological institutes and services active in the catchment area of the Rhine.
- Executing hydrological studies in the Rhine basin and exchange of research results.
- Promoting the exchange of hydrological data and information in the Rhine basin (e.g. current data, forecasts).
- Development of standardized methods for collecting and processing hydrological data in the Rhine riparian states.

### **Participating countries**

Switzerland, Austria, Federal Republic of Germany, France, Luxemburg, the Netherlands

### **Working languages**

German and French

### **Organization**

Permanent representatives (meetings twice a year) supported by a permanent secretariat. Studies are carried out by rapporteurs and international working groups.

Enige gegevens betreffende de:

## **INTERNATIONALE COMMISSIE VOOR DE HYDROLOGIE VAN HET RIJNGEBIED (CHR)**

### **Oprichting**

1970 In het kader van het Internationaal Hydrologisch Decennium (IHD) van de UNESCO.

1975 Voortzetting van de werkzaamheden in het kader van het Internationaal Hydrologisch Programma (IHP) van de UNESCO en het Operationeel Hydrologisch Programma (OHP) van de WMO.

1978 Ondersteuning van het werk van de Commissie door een nota-uitwisseling tussen de samenwerkende landen.

### **Taken**

- Bevordering van samenwerking tussen hydrologische instituten en diensten in het stroomgebied van de Rijn.
- Uitvoeren van hydrologische studies in het Rijngebied en uitwisseling van de onderzoeksresultaten.
- Bevorderen van de uitwisseling van hydrologische gegevens en informatie in het Rijngebied (bijv. actuele gegevens, voorspellingen).
- Ontwikkeling van standaardmethoden voor het verzamelen en bewerken van hydrologische gegevens in de Rijnsoeverstaten.

### **Deelnemende landen**

Zwitserland, Oostenrijk, Bondsrepubliek Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, Nederland

### **Voertalen**

Duits en Frans

### **Organisatie**

Vaste vertegenwoordigers (vergaderingen tweemaal per jaar) ondersteund door een permanent secretariaat. Onderzoeken worden door rapporteurs en internationale werkgroepen uitgevoerd.

## Selection of current subjects

### *Changes in the discharge regime*

- Description of the impact of human activities on the Rhine discharges.
- Determination of the effect of changes in land use and climate on the discharge regime of the Rhine.
- Research into the effects of forest on the hydrology of the basin.

### *Travel times*

- Determination of the travel times and constituent transport in the Rhine for the improvement of the alarm model for the Rhine (in co-operation with CIPR/IKSR).

### *Sediment*

- Improvement and standardization of methods to measure suspended load and bed-load transport.
- Description of sediment characteristics of the river.

### *Continuation of the Monograph*

- Hydrological data for the periods 1971-1980 and 1981-1990 as a continuation of the hydrological monograph 'The Rhine basin' published in 1978.

## Completed projects

see list of publications, p. 100.

## Belangrijkste lopende onderzoeken

### *Veranderingen in het afvoerregime*

- Beschrijving van de invloed van menselijke activiteiten op de Rijnafvoeren
- Bepaling van de invloed van veranderingen in bodemgebruik en klimaat op het afvoerregime van de Rijn.
- Onderzoek naar de invloed van bos op de waterhuishouding.

### *Stroomtijden*

- Bepaling van de stroomtijden en stoftransport in de Rijn ter verbetering van het alarmmodel voor de Rijn (in samenwerking met de IRC).

### *Sediment*

- Verbetering en standaardisering van meetmethoden voor gehalten aan zwevend materiaal en bodemtransport.
- Beschrijving van de sedimenthuishouding in de rivier.

### *Voortzetting Monografie*

- Overzicht van hydrologische gegevens over de perioden 1971-1980 en 1981-1990 als voortzetting van de in 1978 uitgegeven hydrologische monografie „Het stroomgebied van de Rijn”.

## Afgesloten onderwerpen

zie lijst van publikaties, blz. 100.

## KOLOPHON

**Übersetzungen:** F. de Montmollin, Landeshydrologie und -geologie, Bern  
A.M. Wagenaar-Hart, KHR-Sekretariat

**Drucker:** Veenman Drukkers, Wageningen

**Papier:** Chlorfrei M.C.

**ISBN:** 90-70980-22-3